

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Российский государственный профессионально-педагогический университет  
Уральское отделение Российской академии образования  
Академия профессионального образования

**Б.Н. Гузанов, В.В. Бухаленков, Л.И. Анисимова**

## **КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРАВИЛА МАРКИРОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**Учебное пособие**

*Допущено Учебно-методическим объединением  
по профессионально-педагогическому  
образованию в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся  
по специальности 030500.08 Профессиональное обучение  
(машиностроение и технологическое оборудование)*

Екатеринбург 2006

УДК 620.22 : 669 (075.8)

ББК К2–08 л 73–1

Г 93

**Гузанов Б.Н., Бухаленков В.В., Анисимова Л.И.** Классификация и правила маркировки металлических материалов: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2006. 67 с.

В учебном пособии представлены систематизированные принципы современной классификации и действующие правила маркировки распространенных металлических материалов – сталей, твердых металлокерамических сплавов и чугунов, а также некоторых сплавов цветных металлов. Пособие может быть рекомендовано для студентов технических вузов, а также для слушателей институтов и факультетов повышения квалификации, преподавателей и аспирантов.

Рецензенты: член-корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук, профессор Э.С. Горкунов (Уральский государственный технический университет – УПИ); доктор технических наук, профессор В.В. Каржавин (Российский государственный профессионально-педагогический университет)

© Гузанов Б.Н., Бухаленков В.В.,  
Анисимова Л.И., 2006

© Российский государственный  
профессионально-педагогический  
университет, 2006

## ***Оглавление***

Введение.....	5
Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ.....	6
1.1. Характеристика классификационных признаков и классификация сталей.....	7
1.2. Основные маркировочные группы сталей и соответствующие правила маркировки.....	16
1.2.1. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества.....	17
1.2.2. Углеродистые качественные конструкционные стали.....	19
1.2.3. Углеродистые качественные инструментальные стали.....	20
1.2.4. Легированные качественные конструкционные стали.....	20
1.2.5. Легированные качественные инструментальные стали.....	21
1.2.6. Шарикоподшипниковые стали.....	22
1.2.7. Быстрорежущие стали.....	23
1.2.8. Стали повышенной обрабатываемости (автоматные).....	24
Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ.....	28
2.1. Классификация чугунов.....	28
2.2. Маркировка чугунов различных классов.....	30
2.2.1. Обыкновенные нелегированные серые чугуны.....	30
2.2.2. Специальные (легированные) серые чугуны.....	34
2.2.3. Белые износостойкие легированные чугуны.....	36
Глава 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	37
3.1. Классификация и маркировка сплавов меди.....	37
3.1.1. Маркировка латуней.....	39
3.1.2. Маркировка бронз.....	40
3.1.3. Маркировка медно-никелевых сплавов.....	41
3.2. Классификация и маркировка сплавов алюминия.....	42
3.3. Классификация и маркировка сплавов титана.....	48
3.4. Классификация и маркировка сплавов магния.....	49

Глава 4. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ С ОСОБЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ.....	52
4.1. Маркировка магнитомягких материалов.....	52
4.2. Маркировка магнитотвердых материалов.....	55
Глава 5. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	57
5.1. Порошковые конструкционные материалы.....	58
5.1.1. Маркировка порошковых материалов на основе железа.....	59
5.1.2. Маркировка порошковых материалов на основе сталей.....	60
5.1.3. Маркировка порошковых материалов на основе цветных металлов.....	60
5.2. Классификация и маркировка металлокерамических твердых сплавов.....	61
Библиографический список.....	65

## Введение

Многочисленные материалы, используемые в современном машиностроении, принято делить на металлические (сплавы черных и цветных металлов) и неметаллические (пластмассы, керамика, стекла, резина, клеи и т.д.). В настоящее время в материаловедении внутри каждого из названных классов материалов рассматривается огромное множество разновидностей, причем только для сталей их насчитывается более двух тысяч.

В целях хранения и ускорения обмена информацией для каждой разновидности материала разработаны разные условные обозначения, называемые *марками* материала.

В данном учебном пособии рассматриваются классификация и правила маркировки наиболее распространенных металлических материалов: конструкционных и инструментальных сталей, сталей и сплавов с особыми свойствами, чугунов, порошковых композиционных материалов, а также некоторых систем сплавов цветных металлов.

## Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

С середины II тысячелетия до нашей эры человечество вступило в период, именуемый «железным веком». Последний характеризуется освоением производства и включением в обиход заметных количеств нового материала – железа. Вплоть до середины XVIII в. осуществлялось производство сыродутного или кричного железа, имеющего очень малое содержание углерода и поэтому очень пластичного, или ковкого – в терминах прошлого. Придание кованым железным изделиям – главным образом, холодному оружию и доспехам – значительной твердости и прочности так или иначе сводилось к науглероживанию железа и превращению его в сталь. Именно сталь в отличие от железа способна к упрочнению закалкой. Немногочисленные, часто экзотические способы получения твердых стальных изделий хранились в строжайшем секрете, секреты часто утрачивались со смертью владельца, иногда через столетия возрождались и снова терялись. Это относится, в частности, к стали, дошедшей до нас в виде редких образцов холодного оружия и называемой булатом, иногда дамаскской сталью. Еще в Средневековье различали литой булат и кованый булат [1].

В названиях того периода прослеживается разделение стальных изделий на классы. Некоторые названия имеют «географический» аспект, другие – технологический. Впоследствии появились и другие классификационные признаки – фамилия изобретателя, торговая марка и т.д. До начала XIX в. в технике употребляли, например, такие названия, как «свейское (шведское) железо», «старый русский соболь» (демидовское железо), «шеффилдская сталь», «тигельная сталь», «бадаевская (Семена Бадаева) сталь». В середине XIX в. были запатентованы новые способы получения стали из чугуна: бессемеровский, мартеновский, томасовский. Соответственно появились и новые названия производимых сталей, образованные по фамилиям изобретателей и впоследствии прочно вошедшие в практику как указание на технологию производства. Перечисленные способы передела чугуна в сталь позволяли получать сталь с прогнозируемыми или заданными технологическими и эксплуатационными свойствами. Это сделало возможным производство не одной стали, «какая получится», а многих требуемых сталей. Параллельно возникла необходимость их различать, начали создаваться способы и системы классификации, а затем и маркиров-

ки. В силу разных обстоятельств системы классификации сталей, развиваемые в различных индустриальных странах, скорее интернациональны (имеют много общего), а системы маркировки, как правило, складываются как национальные. В настоящее время известны самостоятельные системы маркировки России, Болгарии, Венгрии, Польши, Италии, Франции, США, Японии и др. Одновременно приходится решать проблему сопоставления стандартных марок сталей различных стран [2].

Зарубежные аналоги некоторых отечественных марок легированных сталей приведены в табл. 1.1 [3].

Таблица 1.1

Зарубежные аналоги отечественных марок легированных сталей

Россия, ГОСТ	Германия, DIN*	США, ASTM*	Япония, JIS*
<b>15X</b>	<b>15Cr3</b>	<b>5115</b>	<b>SCr415</b>
<b>40X</b>	<b>41Cr4</b>	<b>5140</b>	<b>SCr440</b>
<b>30XM</b>	<b>25CrMo4</b>	<b>4130</b>	<b>SCM430,SCM2</b>
<b>12XГ3А</b>	<b>14NiCr10**</b>	<b>–</b>	<b>SNC815</b>
<b>20XГНМ</b>	<b>21NiCrMo2</b>	<b>8620</b>	<b>SNCM220</b>
<b>08X13</b>	<b>X7Cr13**</b>	<b>410S</b>	<b>SUS410S</b>
<b>20X13</b>	<b>X20Cr13</b>	<b>420</b>	<b>SUS420J1</b>
<b>12X17</b>	<b>X8Cr17</b>	<b>430</b>	<b>SUS430</b>
<b>12X18H9</b>	<b>X12CrNi8 9</b>	<b>302</b>	<b>SUS302</b>
<b>08X18H10T</b>	<b>X10CrNiTi18 9</b>	<b>321</b>	<b>SUS321</b>
<b>10X13CЮ</b>	<b>X7CrAl133**</b>	<b>405**</b>	<b>SUS405**</b>
<b>20X25H20C2</b>	<b>X15CrNiSi25 20</b>	<b>30314,314</b>	<b>SCS18, SUN310**</b>

\* DIN – Deutsche Industrienorm; ASTM – American Societi for Testing Materials; JIS – Japaneese industrial Standart.

\*\* Сталь, близкая по составу.

### 1.1. Характеристика классификационных признаков и классификация сталей

К числу современных классификационных признаков сталей относятся следующие:

- 1) качество;
- 2) химический состав;

- 3) назначение;
- 4) металлургические особенности производства;
- 5) микроструктура;
- 6) традиционный способ упрочнения;
- 7) традиционный способ получения заготовок или деталей;
- 8) прочность.

Кратко охарактеризуем каждый из них.

1. **Качество** стали определяется в первую очередь содержанием вредных примесей – серы и фосфора – и характеризуется по четырем категориям (табл. 1.2).

Категория «обыкновенного качества» включает только углеродистые (по химическому составу) стали. Все остальные категории качества могут относиться к любым по степени легирования сталям.

Таблица 1.2

Категории качества стали

Наименование категории	Содержание вредных примесей, мас. %, не более		Обозначение в марке
	серы	фосфора	
Обыкновенного качества	0,050	0,040	Системообразующий символ Ст
Качественная	0,035	0,035	Без символа Ст*
Высококачественная	0,025	0,025	Символ А в конце марки
Особовысококачественная	0,015	0,015	Символ —Ш в конце марки

\* Подробнее см. п. 1.2.

2. По *химическому составу* стали условно разделяют на углеродистые (нелегированные) и легированные.

*Углеродистые стали* не содержат специально введенных легирующих элементов. Содержащиеся в углеродистых сталях элементы, кроме углерода, относятся к числу так называемых постоянных примесей. Их концентрация должна находиться в пределах, определяемых соответствующими государственными стандартами (ГОСТами). В табл. 1.3 даются усредненные предельные значения концентрации некоторых элементов, позволяющие относить эти элементы к разряду примесей, а не легирую-



щих элементов. Конкретные пределы содержания примесей в углеродистых сталях дают ГОСТы.

Легирующие элементы, иногда называемые легирующими добавками или присадками, специально вводятся в сталь для получения требуемой структуры и свойств.

*Легированные стали* подразделяются по суммарной концентрации легирующих элементов, кроме углерода, на низколегированные (до 2,5 мас.%), легированные (от 2,5 до 10 мас.%) и высоколегированные (более 10 мас.%) при содержании в последних железа не менее 45 мас.%. Обычно вводимый легирующий элемент дает легированной стали соответствующее название: «хромистая» – легированная хромом, «кремнистая» – кремнием, «хромокремнистая» – хромом и кремнием одновременно и т.д.

Таблица 1.3

Предельные концентрации постоянных примесей  
в углеродистой стали, мас. %, не более

Элемент	Предельная концентрация	Элемент	Предельная концентрация
Mn	0,8	Mn	0,8
Si	0,35	Si	0,35
Cr	0,25	Cr	0,25

Кроме того, выделяют *сплавы на основе железа*, в составе которых железа менее 45%, но его больше любого другого легирующего элемента.

3. По **назначению** стали подразделяют на конструкционные и инструментальные.

*Конструкционными* считаются стали, применяемые для изготовления различных деталей машин, механизмов и конструкций в машиностроении, строительстве и приборостроении. Они должны обладать необходимой прочностью и пластичностью, а также, если требуется, комплексом специальных свойств (коррозионной стойкостью, определенными магнитными свойствами и т. д.). Как правило, конструкционные стали являются *низко-* (или *мало-*) и *среднеуглеродистыми*. Твердость не является для них решающей механической характеристикой.

*Инструментальными* называются стали, применяемые для обработки материалов резанием или давлением, а также для изготовления из-

мерительного инструмента. Они должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, прочностью и рядом других специфических свойств, например теплостойкостью. Необходимым условием получения высокой твердости является повышенное содержание углерода, поэтому инструментальные стали, за редким исключением, всегда являются высокоуглеродистыми.

Внутри каждой из вышеназванных групп сталей имеет место более детальное деление по назначению. Конструкционные стали подразделяют на строительные, машиностроительные и стали специального применения (с особыми свойствами – жаропрочные, жаростойкие, коррозионностойкие, немагнитные).

Инструментальные стали разделяют на стали для режущего инструмента, штамповые стали и стали для измерительного инструмента.

Общим эксплуатационным свойством инструментальных сталей является высокая твердость, обеспечивающая сопротивляемость инструмента деформации и истиранию его поверхности. В то же время к сталям для режущего инструмента предъявляется специфическое требование – сохранять высокую твердость при повышенных температурах (до 500...600°C), которые развиваются в режущей кромке при больших скоростях резания. Указанная способность стали называется ее *теплостойкостью* (или *красностойкостью*).

По вышеназванному критерию стали для режущего инструмента подразделяют на нетеплостойкие, полутеплостойкие, теплостойкие и повышенной теплостойкости. Две последние группы известны в технике под названием *быстрорежущих* сталей.

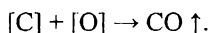
От штамповых сталей помимо высокой твердости требуется большая вязкость, так как штамповый инструмент работает в условиях ударного нагружения. Кроме того, инструмент для горячей штамповки, соприкасаясь с нагретыми металлическими заготовками, при длительной работе может разогреваться. Поэтому стали для горячей штамповки должны быть еще и теплостойкими.

Стали для измерительного инструмента помимо высокой износостойкости, обеспечивающей точность размеров в течение длительного срока службы, должны гарантировать стабильность размеров инструментов независимо от температурных условий эксплуатации. Другими словами, они должны иметь очень небольшое значение коэффициента теплового расширения.

4. Под *металлургическими особенностями производства* в настоящее время при классификации сталей подразумевают степень раскисления стали перед разливкой.

По степени раскисления (или раскисленности) стали подразделяют на кипящие, полуспокойные и спокойные. Критерием для указанного разделения сталей служит содержание в них кремния. Кипящей сталью называется не полностью раскисленная сталь.

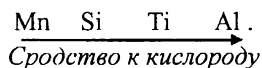
Термин «кипящая» обусловлен выделением из жидкой стали до ее кристаллизации значительного количества пузырьков газа CO, что создает видимость кипения жидкости. В строго физическом смысле это «псевдокипение», поскольку всплывающие пузырьки заполнены не парами железа как основного компонента жидкой стали. Образование газа CO в разлитой стали обусловлено большим количеством растворенного в ней кислорода, который продолжает окислять углерод:



Всплывающие пузырьки CO остаются внутри слитка, после кристаллизации становясь газовыми порами. Поры бесследно исчезают -- завариваются -- при последующей горячей обработке слитка давлением (прокатке, ковке) и не проявляют себя при эксплуатации изделий из кипящей стали в условиях статического нагружения при положительных температурах.

Последствия их существования в качестве «заваренных трещин» проявляются при ударных и циклических нагружениях в условиях низких температур как внезапное хрупкое или усталостное разрушение. Поэтому сталь, сваренную для производства изделий ответственного назначения, перед кристаллизацией необходимо «успокоить», или прервать реакцию. Это возможно, если в расплав добавить элемент-раскислитель, обладающий большим сродством к кислороду, чем углерод.

В качестве раскислителей используют следующие элементы (в порядке возрастания раскислительной способности) или их комбинации:



В результате добавления раскислителей псевдокипение подавляется частично или полностью, что соответствует степени раскисления стали.

В первом случае сталь называется полуспокойной, во втором – спокойной. Соответственно, в конце марки стали ставятся буквосочетания **кп**, **пс** и **сп**.

Наиболее распространенным раскислителем вследствие сочетания эффективности и дешевизны является кремний. Именно его применение делает сталь спокойной (табл. 1.4). Следует помнить, что кремний является наиболее эффективным упрочнителем стали (он входит в состав всех ответственных рессорно-пружинных сталей).

Остаточные количества кремния в раскисленной им стали делают ее непригодной для холодной глубокой вытяжки. Именно остаточное (от раскисления) количество кремния служит критерием для разделения сталей на кипящие, полуспокойные и спокойные (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4

Состояние стали после разливки в зависимости от раскисления

Состояние стали перед кристаллизацией	Раскислители	Содержание кремния после кристаллизации, мас.%	Условное качество стали (по возрастанию)	Условная стоимость стали (по возрастанию)
Кипящая	Mn	< 0,05	1	1
Полуспокойная	Mn + Al	0,05...0,14	2	2
Спокойная	Mn+Al+Si	0,15...0,30	3	3

5. По **микроструктуре** классификация сталей в значительной степени условна. Критерием для разделения на классы в данном случае являются особенности ее строения в отожженном (равновесном) и нормализованном состояниях. По структуре в равновесном состоянии, т.е. после медленного охлаждения на воздухе, все стали разделяют на пять классов:

- 1) доэвтектоидные, имеющие в структуре избыточный феррит;
- 2) эвтектоидные, структура которых состоит из перлита;
- 3) заэвтектоидные, имеющие в структуре избыточный цементит (вторичный);
- 4) аустенитные;
- 5) ферритные.

Углеродистые стали могут быть первых трех классов, легированные – всех пяти. Стали аустенитного класса образуются при введении

в углеродистые стали большого количества элементов Ni, Co или Mn, расширяющих  $\gamma$ -область диаграммы «железо – углерод», а стали ферритного класса – при введении элементов Cr, Si, V, W и др., расширяющих  $\alpha$ -область [4].

По структуре после нормализации, т.е. после охлаждения на воздухе образцов небольших сечений с температуры приблизительно 900°С, стали подразделяют на перлитный, бейнитный, мартенситный, ледебуритный, аустенитный и ферритный классы.

Стали перлитного класса имеют невысокую устойчивость переохлажденного аустенита. При охлаждении на воздухе в зависимости от степени переохлаждения они приобретают пластинчатую структуру перлита, сорбита или троостита, в которой могут присутствовать также избыточные феррит и карбиды (цементит вторичный). К этому классу относятся углеродистые и низколегированные стали, которые представляют собой большую группу дешевых, широко применяемых сталей.

В стали бейнитного класса структура формируется, так же как и в перлитных сталях, при охлаждении на воздухе, но при значительно большей степени переохлаждения. В этом случае в интервале температур промежуточного превращения (несколько выше, чем температура начала мартенситного превращения) аустенит распадается на двухфазную смесь кристаллов феррита и цементита, имеющую игольчатое строение.

Такая структура называется бейнитом или игольчатым трооститом. Основная особенность промежуточного превращения состоит в том, что полиморфный переход  $\gamma \rightarrow \alpha$  происходит по мартенситному (сдвиговому) механизму. В результате бейнит, в отличие от перлита, имеет более высокое содержание углерода в феррите. К этому классу относятся низко- или среднелегированные стали.

Стали мартенситного класса отличаются достаточно высокой устойчивостью переохлажденного аустенита и при охлаждении в соответствующей среде приобретают мартенситную пластинчатую структуру. Размер пластин мартенсита, имеющих в плоскости шлифа игольчатую форму, зависит от размера исходных зерен аустенита. К этому классу относятся средне- или высоколегированные стали.

В структуре литых ледебуритных (карбидных) сталей присутствует эвтектика (ледебурит), образованная первичными карбидами совместно с аустенитом. Поэтому по структуре эти стали могут быть отнесены к белым

чугунам, но их причисляют все-таки к сталям с учетом меньшего, чем у чугунов, содержания углерода ( $< 2,14$  мас.%) и возможности подвергать пластической деформации. К этому классу относят высокоуглеродистые ( $1,8 - 2,1$  мас.%) среднелегированные стали.

Структурный класс аустенитных и ферритных сталей совпадает по классификации как в отожженном, так и нормализованном состояниях.

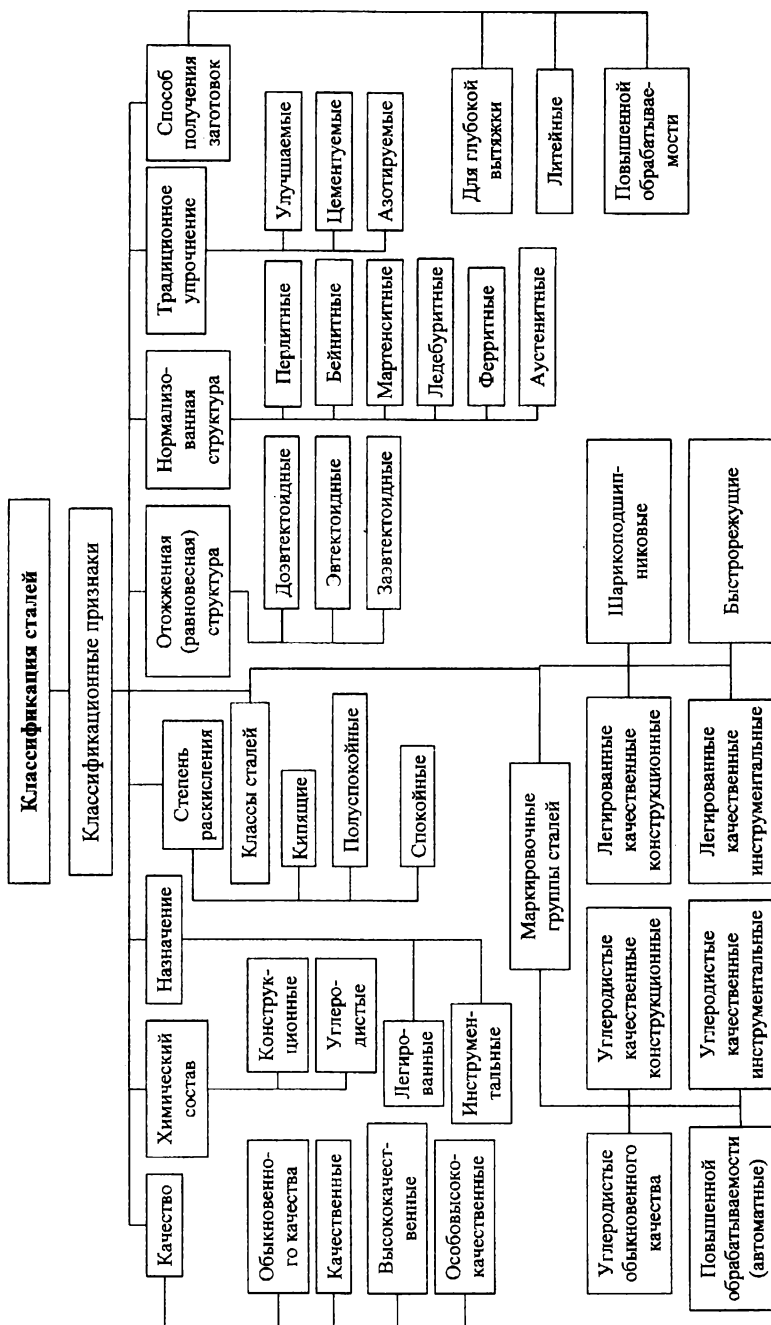
6. К *традиционным способам упрочнения* относят закалку с высоким отпуском (улучшение), цементацию и азотирование. Соответственно, различают стали улучшаемые, цементуемые и азотируемые. В последние три-четыре десятилетия появились стали с другими способами (механизмами) упрочнения – дисперсионно-твердеющие, мартенситостареющие и др.

7. *Традиционный способ получения заготовок или деталей* как классификационный критерий позволяет выделять стали для холодной штамповки (или глубокой вытяжки), стали повышенной обрабатываемости (автоматные), а также иногда литейные.

Стали для холодной штамповки, производимые обычно в виде листа, должны иметь такие технологические свойства, как повышенную пластичность и вязкость при невысокой прочности. Достигается это при весьма низком содержании углерода (не более  $0,20$  мас.%) и кремния (не более  $0,10$  мас.%). В связи с последним указанием понятно, что стали для холодной штамповки не должны раскисляться кремнием и, значит, будут разливаться как кипящие.

Сталь повышенной обрабатываемости выделена в самостоятельный класс сталей в конце 20-х гг. XX в. в США как сталь, легко поддающаяся скоростной обработке на металлорежущих станках-автоматах. Легкость обработки (высокие скорости резания, меньший износ инструмента) обусловлена образованием при резании короткой, ломкой, легко отделяющейся стружки. Перечень классификационных признаков и соответствующие группы сталей представлены на рисунке.

8. По *прочности*, оцениваемой временным сопротивлением ( $\sigma_b$ ), все стали с некоторой условностью можно разделить на стали нормальной (средней) прочности ( $\sigma_b \sim 1000$  МПа), повышенной прочности ( $\sigma_b \sim 1500$  МПа), высокопрочные ( $\sigma_b \sim 2000$  МПа) и сверхпрочные ( $\sigma_b > 2000$  МПа).



Классификационные признаки, классификация сталей и их маркировочные группы

## 1.2. Основные маркировочные группы сталей и соответствующие правила маркировки

Из содержания предыдущего раздела ясно, что охарактеризовать сталь – значит описать ее классификационные признаки. Например, для изготовления штампа для горячей объемной штамповки требуется спокойная качественная легированная среднеуглеродистая теплостойкая инструментальная сталь, содержащая никель для повышения ударной вязкости и молибден или вольфрам для обеспечения теплостойкости. Существенными недостатками указанной характеристики являются ее *многословность и неконкретность* в определении химического состава: сколько сталь должна содержать, кроме постоянных примесей, углерода, никеля, молибдена или вольфрама и не должно ли в ней быть еще каких-нибудь элементов.

Указанные недостатки устраняются введением условного обозначения стали (ее марки), которое в сжатой форме передает возможно большее количество информации. Сжатие информации осуществляется путем введения цифровых или буквенных кодов для обозначения классификационных характеристик.

В России используется буквенно-цифровое кодирование. Единой системы кодирования, т.е. одинаковых правил маркировки для всех сталей, не существует. В настоящее время можно выделить восемь систем кодирования, каждая из которых распространяется на одну какую-либо группу сталей, объединяемых общностью главных классификационных признаков и единством правил маркировки. Соответственно, предлагается называть упомянутые группы сталей *маркировочными группами*. К ним относят:

- 1) углеродистые (кипящие, полуспокойные и спокойные) стали обыкновенного качества;
- 2) углеродистые качественные конструкционные стали;
- 3) углеродистые качественные инструментальные стали;
- 4) легированные качественные и высококачественные конструкционные стали;
- 5) легированные качественные и высококачественные инструментальные стали;
- 6) подшипниковые (шарикоподшипниковые) стали;
- 7) быстрорежущие инструментальные стали;
- 8) автоматные (повышенной обрабатываемости) стали.



Анализ состава исторически сложившихся маркировочных групп сталей показывает, что применяемые системы маркировки позволяют кодировать пять классификационных признаков, а именно: качество, химический состав, назначение, степень раскисленности, а также способ получения заготовок (автоматные или, в редких случаях, литейные стали). Связь маркировочных групп и классов сталей иллюстрируется в нижней части блок-схемы на рисунке.

Далее подробно излагаются правила маркировки, действующие в каждой из маркировочных групп сталей.

### ***1.2.1. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества***

Конкретные стали указанной маркировочной группы обозначаются с помощью двухбуквенного сочетания Ст, которое является ключевым (системообразующим) в рассматриваемой маркировочной группе. Марки сталей данной группы сразу узнаются по этому символу.

За символом Ст без пробела следует цифра, указывающая номер марки, – от 0 до 6.

Возрастание номера марки соответствует росту содержания углерода в стали, однако сам номер марки не указывает на его конкретное значение. Допустимые пределы концентрации углерода в сталях каждой марки показаны в табл. 1.5. Так, содержание углерода в сталях углеродистых обыкновенного качества не превышает 0,5 мас.%. Подобные стали являются доэвтектоидными по структурному критерию и, значит, конструкционными по назначению.

После цифры следует одно из трех буквосочетаний: **кп**, **пс**, **сп**, показывающее степень раскисленности стали.

Перед символом Ст могут стоять заглавные буквы **А**, **Б** или **В** либо может не быть никаких символов. Таким способом передается информация о принадлежности стали к одной из так называемых «групп поставки»: **А**, **Б** или **В** – в зависимости от того, какой из нормируемых показателей стали гарантируется поставщиком.

Сталь группы **А** поставляется с гарантией требуемых механических свойств или заданных ГОСТом допустимых значений концентрации углерода и примесей. Буква **А** часто в марке не ставится, и ее отсутствие по умолчанию означает гарантию механических свойств. Потребитель стали

Таблица 1.5

## Система маркировочных групп, правила маркировки и примеры марок сталей

Углеродистые	Обыкновенного качества	Группа стали	Вид поставки	Марки							
				Ст0	Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6	
Легированные	Высококачественные и качественные	А	С гарантированными механическими свойствами	БСт0	БСт1	БСт2	БСт3	БСт4	БСт5	БСт6	
		Б	С гарантированным химическим составом	ВСт0	ВСт1	ВСт2	ВСт3	ВСт4	ВСт5	ВСт6	
		В	С гарантированными механическими свойствами и химическим составом	Примеры марок							
		Концентрация углерода, мас. %			≤ 0,23	0,06 – 0,12	0,09 – 0,15	0,14 – 0,22	0,18 – 0,27	0,28 – 0,37	0,38 – 0,49
		Конструкционные			Примеры марок						
Легированные	Высококачественные и качественные	Марка: двузначное число сотых долей процента углерода + указание степени раскисления			05*, 08кп, 10, 15, 18кп, 20А**, 25пс, 30А, 35, 40, 45, ... 75, 80, 85						
		Инструментальные			Марки						
		Марка: символ У + число десятых долей процента углерода			У7, У7А, У8, У8А, У9, У9А, У10, У10А, У12, У12А						
		Конструкционные			Примеры марок						
		Марка: двузначное число сотых долей процента углерода + символ легирующего элемента + целое число его процентов			09Г2, 10ХСНД***, 18Г2АФс, 20Х, 40Г, 45ХН, 65С2ВА, 110Г13Л****						
Легированные	Высококачественные и качественные	Инструментальные			Примеры марок						
		Марка: число десятых долей процента углерода + символ легирующего элемента + целое число его процентов			3Х2Н2МФ, 4ХВ2С, 5ХНМ, 7Х3, 9ХВГ, Х*****, ХВ4, 9Х4М3АГТ-Ш*****						

\* Отсутствие указателя степени раскисленности означает сп.

\*\* Буква А в конце марки показывает, что сталь – высококачественная.

\*\*\* Цифра 1 как указатель концентрации ≤ 1 мас.% легирующего элемента не ставится.

\*\*\*\* Марка 110Г13Л – одна из немногих, в которой число сотых долей процента углерода – трехзначное.

\*\*\*\*\* Число 10 как указатель «десяти десятых» мас.% углерода не ставится.

\*\*\*\*\* Ш в конце марки показывает, что сталь – особовысококачественная.

может определить оптимальное ее применение в конструкциях по известным характеристикам механических свойств без предварительной термообработки.

Сталь группы **Б** поставляется с гарантией химического состава. Потребитель стали, не имея информации о механических свойствах, может формировать их путем соответствующей термообработки, выбор режимов которой требует знания химического состава.

Сталь группы **В** поставляется с гарантией как химического состава, так и механических свойств. Используется потребителем главным образом для создания сварных конструкций. Знание механических свойств позволяет прогнозировать поведение нагруженной конструкции в зонах, далеких от сварных швов, а знание химсостава дает возможность предсказывать и, по необходимости, исправлять термообработкой механические свойства собственно сварных швов.

Примеры записи марок углеродистой стали обыкновенного качества выглядят следующим образом: **ВСтЗпс**, **БСт6сп**, **Ст1кп** (см. табл. 1.5).

### ***1.2.2. Углеродистые качественные конструкционные стали***

Стали данной маркировочной группы обозначаются двузначным числом, показывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента: **05**, **08**, **10**, **15**, **20** и далее до **85** (как правило, с шагом 0,05). В данном случае двузначное число является ключевым (системообразующим) символом в рассматриваемой маркировочной группе. По нему марки сталей данной группы сразу отделяются от углеродистых сталей обыкновенного качества, хотя и те и другие являются конструкционными по назначению.

Для обозначения малоуглеродистых (до 0,20 мас.%) не раскисленных полностью сталей после двузначного числа ставится символ **кп** или **пс**. В марках спокойных сталей символ **сп** часто не указывается.

Буква **А** после двузначного числа указывает на принадлежность стали к категории высококачественной. Кипящие и полуспокойные стали не относятся к высококачественным.

Примеры записи марок углеродистой качественной конструкционной стали выглядят следующим образом: **05кп**, **08пс**, **40А**, **65**, **70**, **70А**, **30Л** (литейная) (см. табл. 1.5).

### ***1.2.3. Углеродистые качественные инструментальные стали***

Стали данной группы маркируются с применением ключевого (системообразующего) символа **У**, открывающего марку. За ним следует цифра (или число), показывающая среднее содержание углерода в десятых долях процента. Стали этой группы выплавляются только как спокойные, но символ **сп** не ставится. Буква **А** в конце марки указывает на принадлежность стали к категории высококачественной.

Примеры записи марок углеродистой качественной инструментальной стали выглядят следующим образом: **У7А, У7, У8А, У10, У13** (см. табл. 1.5).

### ***1.2.4. Легированные качественные конструкционные стали***

Стали указанной группы маркируются с применением двух ключевых (системообразующих) символов: двух- или трехзначного числа, показывающего среднюю концентрацию углерода в сотых долях процента, и символов легирующих элементов (табл. 1.6). Обычно за символами легирующих элементов следует цифра (или целое число), указывающая примерное количество процентов легирующей добавки. Если ее содержание не превышает 1,5 мас.%, и округленное целое число равно 1, единица в марке не ставится. Другими словами, отсутствие в марке числа после символа легирующего элемента по умолчанию свидетельствует, что его концентрация не превышает 1,5 мас.%.

Легированные стали выплавляются только как спокойные, символ **сп** не ставится. Буква **А** в конце марки указывает на принадлежность стали к категории высококачественной, а символ **—Ш** (иногда без тире перед буквой) – на то, что сталь особовысококачественная. Марки, не содержащие в конце букву **А** или **Ш**, обозначают качественные стали.

Если сталь содержит в качестве легирующей добавки азот, символ **А** будет стоять в середине марки, например **16Г2АФ**.

Следует подчеркнуть, что некоторые элементы: **V, Ti, Nb, Zr, В, N** и др. – нередко присутствуют в стали в очень незначительных количествах – сотых долях процента (бор в тысячных), оказывая при этом существенное влияние на свойства стали. Поэтому они рассматриваются как легирующие элементы (так называемое микролегирование), и соответствующие им символы присутствуют в марке стали [5].

Для отнесения химического элемента к легирующим добавкам или постоянным примесям стали можно воспользоваться предельными значениями их концентрации, приведенными в табл. 1.3.

Таблица 1.6

Условные обозначения легирующих элементов  
в марках легированных сталей и чугунов

Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке	Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке
N	Азот	А	P	Фосфор	П
Nb	Ниобий	Б	B	Бор	Р
W	Вольфрам	В	Si	Кремний	С
Mn	Марганец	Г	Ti	Титан	Т
Cu	Медь	Д	V	Ванадий	Ф
Se	Селен	Е	Cr	Хром	Х
Co	Кобальт	К	Zr	Цирконий	Ц
Ni	Никель	Н	Al	Алюминий	Ю
Mo	Молибден	М	—	Редкоземельные	Ч

Если в начале марки легированной стали стоит **0**, то содержание углерода в ней составляет 0,08 мас.%, а если стоит **00**, то содержание углерода – 0,04 мас.%.

Примеры записи марок легированной качественной конструкционной стали выглядят следующим образом: **15X**, **20XГНР**, **65C2BA**, **110Г13Л**, **55X20Г9АН4**, **38ХМЮА**, **0X18Н9Т**, **00X18Н10ТЕ** (см. также табл. 1.5).

### *1.2.5. Легированные качественные инструментальные стали*

Стали этой группы маркируются с применением двух типов ключевых (системообразующих) символов – однозначного числа, показывающего среднюю концентрацию углерода в десятых долях процента, и символа(-ов) легирующих элементов (см. табл. 1.6).

Обычно за символами легирующих элементов следует цифра или целое число, указывающее примерное количество процентов легирующей добавки. Если ее содержание не превышает 1,5 мас.% и округленное целое число равно 1, единица в марке не ставится. Таким образом, отсутствие в марке числа после символа легирующего элемента по умолчанию свидетельствует, что его концентрация не превышает 1,5 мас.%.

Следует помнить, что в случаях, когда средняя концентрация углерода в стали составляет десять десятых (и более) процента, двузначные числа **10**, **11** и далее в начале марки не ставятся. Редкими исключениями являются несколько марок – **11ХФ**, **13Х** и т.д.

Буква **А** в конце марки указывает на принадлежность стали к категории высококачественной, а символ **—Ш** (иногда без тире перед буквой) – на то, что сталь особовысококачественная.

Если сталь содержит в качестве легирующей добавки азот, символ **А** будет стоять в середине марки, например **9Х4М3Ф2АГСТ—Ш**.

Для отнесения химического элемента к легирующим добавкам или постоянным примесям стали можно воспользоваться предельными значениями их концентрации, приведенными в табл. 1.3.

Примеры записи марок легированной качественной инструментальной стали выглядят следующим образом: **7ХФ**, **9ХС**, **ХВГ**, **11ХФ**, **8Х4В2М2Ф2А**, **5ХНМ**, **Х12М**, **9Х4М3Ф2АГСТ—Ш** (см. табл. 1.5).

### ***1.2.6. Шарикоподшипниковые стали***

Стали для подшипников имеют собственную маркировку, по назначению составляют особую группу конструкционных сталей, хотя по составу и свойствам они близки к инструментальным сталям [6]. Термин «шарикоподшипниковые» определяет их узкую область назначения – подшипники качения (не только шариковые, но также роликовые и игольчатые). Первая отечественная шарикоподшипниковая сталь была выплавлена на рубеже 20-х и 30-х гг. XX в. Для ее маркировки была предложена аббревиатура **ШХ** – шарикоподшипниковая хромистая, – за которой ставится число десятых долей процента средней концентрации хрома. Из ранее широко известных марок **ШХ6**, **ШХ9** и **ШХ15** в употреблении осталась марка **ШХ15**. Для всех сталей группы **ШХ** характерно содержание 0,95...1,05 мас. % углерода, 0,20 мас.% марганца, 0,17...0,37 мас.% кремния. Если бы сталь указанного химического состава выплавлялась как низколегирован-

ная инструментальная, ей была бы присвоена марка **X**. Отличие шарикоподшипниковой стали от аналогичной инструментальной – в более жестких требованиях к количеству неметаллических включений и равномерности распределения карбидов в микроструктуре.

Принятая в начале XX в. для подшипниковых сталей система маркировки явно менее информативна по сравнению с правилами, принятыми в рассмотренных выше маркировочных группах. Усовершенствование стали **ШХ15** путем введения в нее дополнительных легирующих добавок (кремния и марганца) своеобразно отразилось в маркировке – распространением на *специфическую систему* более поздних правил обозначения легирующих элементов в составе легированных сталей: **ШХ15СГ**, **ШХ20СГ**. Разработка и освоение новых подшипниковых сталей специального применения (теплостойких и коррозионностойких) ознаменовались отказом от маркировки **ШХ** и переходом к правилам, применяемым в маркировочных группах 4 и 5. Примером служит марка **95Х18–Ш** [7].

Идентичность состава и свойств подшипниковых и инструментальных теплостойких сталей объясняет включение в группу подшипниковых таких сталей, которые и по маркировке относятся к инструментальным: **8Х4М4В2Ф1Ш**, **8Х4В9Ф2Ш** [8].

### *1.2.7. Быстрорежущие стали*

В отличие от других инструментальных сталей быстрорежущие обладают высокой теплостойкостью (красностойкостью), т.е. способностью сохранять высокую твердость, прочность и износостойкость при повышенных температурах, возникающих в режущей кромке инструмента при резании с большой скоростью. Подобный эффект достигается введением в сталь большого количества вольфрама как основного легирующего элемента. Классический состав быстрорежущей стали, предложенный на рубеже XIX – XX вв., включает в себя примерно: 18 мас.% W, 4 мас.% Cr, 1,4 мас.% V и 0,7 мас.% C.

В России быстрорежущие стали специфически маркируются буквой русского алфавита **Р**, соответствующей первому звуку в английском слове «rapid» – быстрый, скорый. Далее следует целое число процентов вольфрама.

В составе всех быстрорежущих сталей присутствует около 4 мас.% хрома, поэтому в специфической системе маркировки содержание хрома не отражается. Если ванадий присутствует в стали в количестве менее

1,5 мас. %, то он в маркировке также не отражается. Таким образом, указанный классический состав быстрорежущей стали запишется в виде марки **P18**. При разных концентрациях вольфрама быстрорежущие стали этого класса маркируют как **P9**, **P12**.

В связи с дефицитностью и дороговизной вольфрама с 1970-х гг. практически во всех странах произошел переход на вольфрамомолибденовую сталь **P6M5** без азота и **P6AM5** с азотом [8]. Аналогично маркировке подшипниковых сталей произошло слияние (своего рода «гибридизация») двух систем маркировки.

Разработка и освоение новых быстрорежущих сталей с кобальтом и ванадием обогатило арсенал «гибридных» марок: **P6AM5Ф3**, **P6M4K8**, **11P3AM3Ф2**, а также привело к появлению вообще безвольфрамовых быстрорежущих сталей, которые маркируются в специфической системе (**P0M5Ф1**, **P0M2Ф3**) или полностью по-новому: **9X6M3Ф3АГСТ-Ш**, **9X4M3Ф2АГСТ-Ш** [9].

### ***1.2.8. Стали повышенной обрабатываемости (автоматные)***

Указанные стали в зависимости от химического состава делятся на несколько классификационных групп и соответственно составляют несколько маркировочных групп. В основе классификации – вид легирующей добавки, иначе, присадки (или их комбинаций), приводящей к легкому отделению стружки. В качестве таких присадок используют серу, селен, свинец, кальций.

Число и наименование классификационных групп автоматных сталей претерпевают изменения по мере разработки и освоения новых марок и вытеснения старых. Иллюстрацией могут служить сравнительные данные из двух изданий справочника «Машиностроительные стали» – 1981 и 1992 гг., приведенные в табл. 1.7 [10, 11]. Из данных табл. 1.7 следует, что за десятилетие практически исчез класс сернисто-селенистых сталей, и на смену им пришли стали, характеризующиеся совместным введением двойных (S+Pb, S+Ca) и тройного (S+Ca+Pb) комплексов присадок. Однако состав маркировочных групп и правила маркировки автоматных сталей при этом практически не изменились. Обозначения некоторых присадок в автоматных сталях иные, чем принятые в маркировке легированных сталей: свинец – **С**, кальций – **Ц**. Сера не обозначается, а селен имеет то же обозначение – **Е**.



Таблица 1.7

**Сравнительный состав классификационных групп  
автоматных сталей**

Наименование классификационных групп автоматных сталей	
в 1981 г.	в 1992 г.
Углеродистая сернистая	Углеродистая сернистая
Углеродистая свинецсодержащая	Углеродистая свинецсодержащая
Углеродистая сернистоселенистая	Легированная свинецсодержащая
Хромистая сернистоселенистая	Углеродистая кальцийсодержащая
Сернистомарганцовистая свинецсодержащая	Легированная кальцийсодержащая
Легированная свинецсодержащая	Легированная кальцийсвинецсодержащая

Ключевым (системообразующим) символом в марке любой автоматной стали является буква **А** в начале. В зависимости от того, что следует за ней, можно выделить пять маркировочных групп сталей:

- 1) углеродистые и легированные сернистые;
- 2) углеродистые и легированные сернистоселенистые;
- 3) углеродистые и легированные свинецсодержащие;
- 4) углеродистые и легированные кальцийсодержащие;
- 5) легированные кальцийсвинецсодержащие.

**Углеродистые и легированные сернистые стали** маркируются буквой **А**, за которой следует марка углеродистой или легированной качественной конструкционной стали:

<b>А</b>	Марка углеродистой качественной конструкционной стали	;
<b>А</b>	Марка легированной качественной конструкционной стали	.

Примеры: **A11, A20, A30, A35, A40Г.**

В зависимости от марки концентрация серы в стали составляет 0,08...0,30 мас.%.

**Углеродистые и легированные сернистоселенистые стали** маркируются буквой **А**, за ней следует марка углеродистой или легированной

качественной конструкционной стали, и в конце ставится символ **Е**, соответствующий селену:

**А**

Марка углеродистой качественной конструкционной стали
---

**Е**;

**А**

Марка легированной качественной конструкционной стали
---

**Е**.

Примеры: **A35E, A45E, A40XE**.

В зависимости от марки концентрация серы в стали составляет 0,06...0,12 мас.%, а селена – 0,04...0,10 мас.%.

*Углеродистые и легированные свинецсодержащие стали* маркируются буквосочетанием **АС**, за которым следует марка углеродистой или легированной качественной конструкционной стали:

**АС**

Марка углеродистой качественной конструкционной стали
---

 ;

**АС**

Марка легированной качественной конструкционной стали
---

 .

Примеры: **АС14, АС40, АС20ХГНМ, АС40ХГНМ**.

Вне зависимости от марки концентрация свинца в стали составляет 0,15...0,30 мас.%.

*Углеродистые и легированные кальцийсодержащие стали* маркируются буквосочетанием **АЦ**, за которым следует марка углеродистой или легированной качественной конструкционной стали:

**АЦ**

Марка углеродистой качественной конструкционной стали
---

 ;

**АЦ**

Марка легированной качественной конструкционной стали
---

 .

Примеры: **АЦ40, АЦ35Х, АЦ20ХГНМ**.

Микролегирование стали кальцием проводят специальным сплавом, именуемым силикокальцием, из расчета введения 0,03...0,09 мас.% Са в жидкий металл.

*Легированные кальцийсвинцовсодержащие стали* маркируются буквосочетанием **АСЦ**, за которым следует марка легированной качественной конструкционной стали:

<b>АСЦ</b>	Марка легированной качественной конструкционной стали
------------	---

Пример: **АСЦ30ХМ**.

В стали содержится 0,15...0,30 мас.% свинца и не менее 0,001...0,002 мас.% кальция.

## Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ

### 2.1. Классификация чугунов

Чугунами называют сплавы железа с углеродом, имеющие в своем составе более 2,14 мас.% С.

Чугуны выплавляют для передела в сталь (передельные), для получения ферросплавов, играющих роль легирующих присадок, а также как высокотехнологичные сплавы для получения отливок (литейные).

Отличительным структурным признаком чугунов является присутствие эвтектики [12], которая в системе сплавов «железо – цементит» получила название «ледебурит». Наличие эвтектического превращения резко снижает температуру плавления, что и обуславливает использование чугунов в качестве литейных сплавов.

Углерод может находиться в чугуне в виде двух высокоуглеродистых фаз – цементита ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) и графита, а иногда одновременно в виде цементита и графита. Чугун, в котором присутствует только цементит, дает светлый блестящий излом и поэтому называется белым. Присутствие графита придает излому чугуна серый цвет. Однако не всякий чугун с графитом относится к классу так называемых серых чугунов. Между белыми и серыми чугунами лежит класс половинчатых чугунов.

Из теории фазовых превращений и практики термической обработки железоуглеродистых сплавов известно, что цементит является неустойчивой фазой и при нагреве распадается на железо (точнее, твердый раствор углерода в железе) и углерод в виде графита (рис. 2.1).

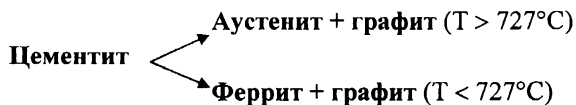


Рис. 2.1. Механизм распада цементита при нагреве

Такой распад называется графитизацией. Из всех возможных форм цементита в чугунах: первичного, цементита ледебурита, цементита пер-

лита – в первую очередь графитизируется первичный, затем – цементит ледебурита и в последнюю очередь – цементит перлита.

*Половинчатыми* чугунами называют чугуны, в структуре которых, несмотря на графитизацию, хотя бы частично сохранился цементит ледебурита, а значит, присутствует собственно ледебурит – имеющая специфический вид эвтектическая структурная составляющая.

К *серым* относят чугуны, в которых полностью распался цементит ледебурита и последнего в структуре не стало. Серый чугун состоит из графитных включений и металлической основы. Эта металлическая основа представляет собой перлитную (эвтектоидную), феррито-перлитную (доэвтектоидную) или ферритную (малоуглеродистую) сталь. Указанной последовательности видов металлической основы серых чугунов соответствует все большая степень распада цементита, входящего в состав перлита.

Форма графитных включений зависит от того, как протекает процесс образования графита в чугуне. Включения графита, образующиеся непосредственно в процессе первичной кристаллизации, имеют вид розы с лепестками (розетки). Отдельные лепестки-пластинки в сечении микрошлифа выглядят как длинные полоски. Такая форма графита присутствует в сером чугуне, который получил название чугуна с пластинчатым графитом.

Если перед первичной кристаллизацией чугун модифицируют путем обработки расплава магнием или другими лигатурами, образующийся графит имеет шаровидную (глобулярную) форму. Его название – «высокопрочный чугун с шаровидным графитом», или сокращенно **ЧШГ**. Уменьшая количество модификатора, добиваются получения графитных включений в форме отдельных продолговатых включений, напоминающих вермишель. Соответствующее название чугуна – «чугун с вермикулярным графитом», сокращенно **ЧВГ**.

Длительный нагрев при высоких температурах (отжиг) отливок из белого чугуна приводит к образованию графита в форме хлопьев. Полученный продукт называют чугуном с хлопьевидным графитом или ковким чугуном.

Чугун можно рассматривать как сталь, пронизанную графитом, который играет роль надрезов (трещин), ослабляющих металлическую основу структуры. Вариацией металлической основы (феррит, феррит+перлит, перлит) и формы включений графита (пластины, хлопья, глобулы) можно в относительно широких пределах изменять прочность и вязкость литых изделий из чугуна. Наличие графита придает чугунам высокую обрабаты-

ваемость резанием, уменьшает коэффициент трения скольжения, т.е. делает чугун антифрикционным материалом.

Серые технические чугуны представляют собой, по существу, тройные сплавы Fe–Si–C с постоянными примесями Mn, P, S. Легированием чугуна можно добиться придания ему специальных эксплуатационных и физических свойств – жаростойкости (окалиностойкости), коррозионной стойкости, жаропрочности, ростоустойчивости (неизменности размеров чугунного изделия при многократных нагревах и охлаждениях), парамагнетизма (немагнитности). В ряде случаев белые и половинчатые чугуны также используются в качестве конструкционного материала. Их преимущество – высокая твердость, обусловленная мартенситной металлической основой и включениями цементита или специальных карбидов. Именно высокая твердость обеспечивает изделиям из этих чугунов важное эксплуатационное свойство – износостойкость, или способность противостоять абразивному, абразивно-ударному и абразивно-коррозионному изнашиванию.

Все перечисленные классы и конкретные названия серых и белых чугунов систематизированы в двух классификационных схемах на рис. 2.2 и 2.3. Изучение фазовых превращений в чугунах и опора на указанные схемы позволит лучше уяснить правила маркировки отдельных классов чугунов.

## **2.2. Маркировка чугунов различных классов**

### ***2.2.1. Обыкновенные нелегированные серые чугуны***

В марке обыкновенных нелегированных серых чугунов прямо отражается информация о форме графитных включений. Буквосочетание **СЧ** применяется к чугунам с пластинчатым (и вермикулярным) графитом, **КЧ** – к ковким с хлопьевидным графитом, а **ВЧ** – к высокопрочным с шаровидным графитом. В указанной последовательности возрастает вязкость чугуна, которую можно грубо оценить такой характеристикой стандартных механических свойств, как относительное удлинение. О строении металлической основы косвенно судят по величине предела прочности (временного сопротивления). Он уменьшается по мере графитизации цементита в перлите.

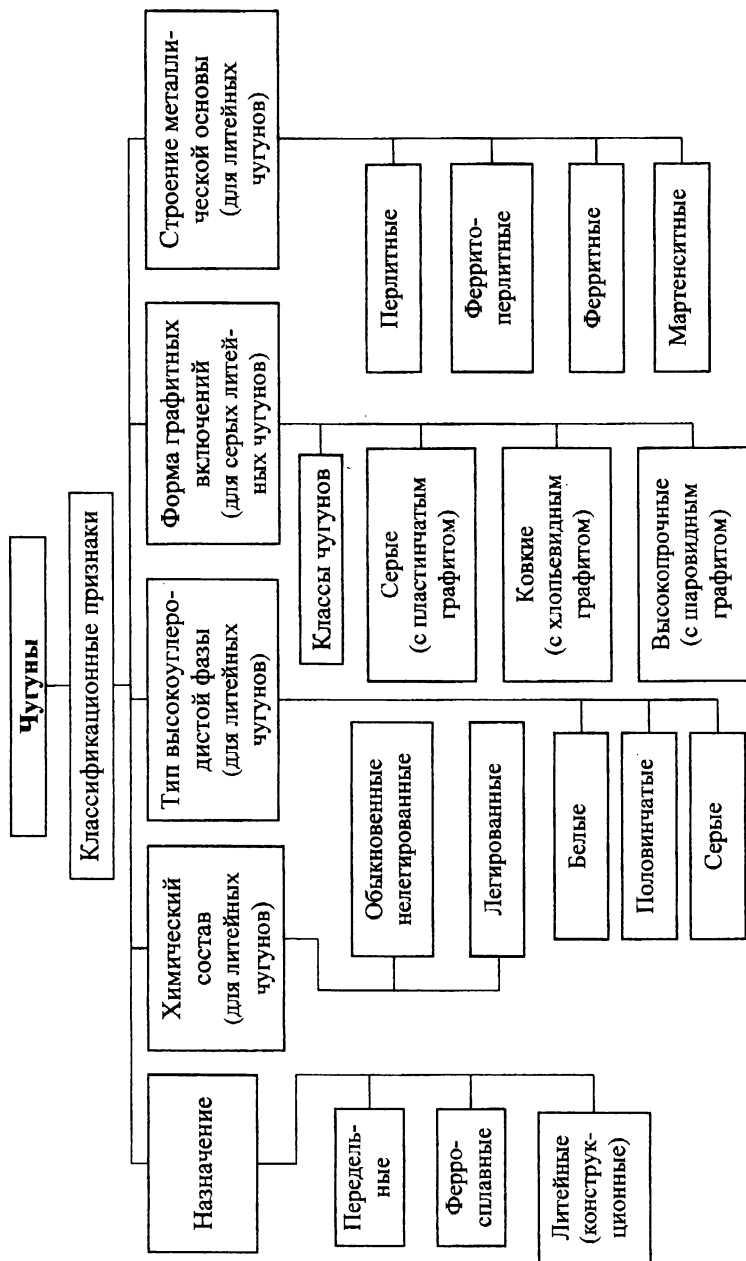


Рис.2.2. Общая классификация чугунов

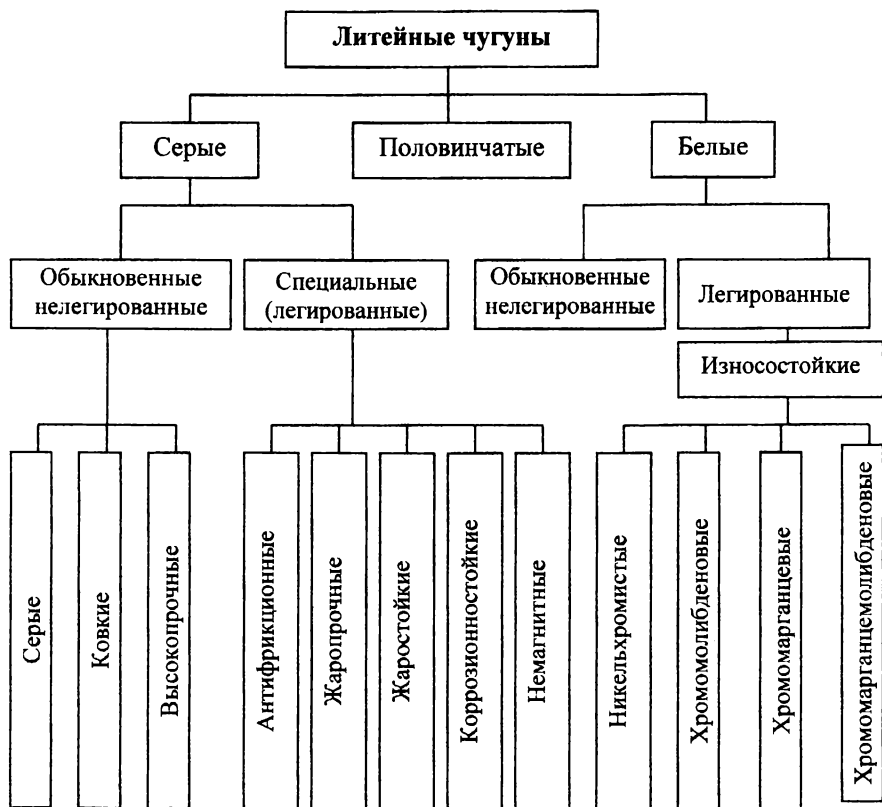


Рис. 2.3. Классификация литейных чугунов



Марка *серого чугуна с пластинчатым графитом* по ГОСТ 1412–85 образуется буквосочетанием **СЧ** (серый чугун), за которым через пробел следует число, в десять раз меньшее предела прочности при растяжении (временного сопротивления), измеренного в МПа (мегапаскалях):

$$\text{СЧ} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Уменьшенное в десять раз} \\ \text{значение предела прочности,} \\ \text{измеренное в МПа} \end{array}} .$$

Примеры: **СЧ 45** (с перлитной металлической основой), **СЧ 21** (с феррито-перлитной металлической основой), **СЧ 15** (с ферритной металлической основой).

Марка *ковкого чугуна с хлопьевидным графитом* по ГОСТ 1215–79 образуется буквосочетанием **КЧ** (ковкий чугун), за которым через пробел следует число, в десять раз меньшее предела прочности при растяжении (временного сопротивления), измеренного в МПа (мегапаскалях), и далее через тире – число, показывающее относительное удлинение в процентах:

$$\text{КЧ} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Уменьшенное в десять раз} \\ \text{значение предела прочнос-} \\ \text{ти, измеренное в МПа} \end{array}} \quad \boxed{-} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Значение относитель-} \\ \text{ного удлинения, в \%} \end{array}} .$$

Примеры: **КЧ 63–2** (с перлитной металлической основой), **КЧ 50–4** (с феррито-перлитной металлической основой), **КЧ 30–6** (с ферритной металлической основой).

Марка *высокопрочного чугуна с шаровидным графитом* по ГОСТ 7293–79 образуется буквосочетанием **ВЧ** – высокопрочный чугун, за которым через пробел следует число, в десять раз меньшее предела прочности при растяжении (временного сопротивления), измеренного в МПа (мегапаскалях), и далее через тире – число, показывающее относительное удлинение в процентах:

$$\text{ВЧ} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Уменьшенное в десять раз} \\ \text{значение предела прочнос-} \\ \text{ти, измеренное в МПа} \end{array}} \quad \boxed{-} \quad \boxed{\begin{array}{c} \text{Значение относитель-} \\ \text{ного удлинения в \%} \end{array}} .$$

Примеры: **ВЧ 120—4** (с перлитной металлической основой), **ВЧ 45—5** (с феррито-перлитной металлической основой), **ВЧ 38—17** (с ферритной металлической основой).

В 1985 г. введен новый ГОСТ 7293—85, где высокопрочный чугун маркируется только числом, указывающим предел прочности (**ВЧ120**, **ВЧ45**, **ВЧ38**). Все сказанное дополнительно иллюстрируется данными рис. 2.4.

### 2.2.2. Специальные (легированные) серые чугуны

**Антифрикционные чугуны**, применяемые для изготовления деталей подшипников скольжения, маркируются буквосочетаниями **АЧС**, **АЧК** или **АЧВ**, за которыми через тире указывается порядковый номер марки: 1, 2 или 3. Буквы обозначают следующее: **А** – антифрикционный; **Ч** – чугун; **С**, **К** или **В** – указание на форму графитных включений по аналогии с серым, ковким и высокопрочным чугунами. Примеры марок: **АЧС—1**, **АЧС—2**, **АЧС—3**.

**Специальные легированные жаростойкие, коррозионностойкие и жаропрочные чугуны** маркируются буквой **Ч**, за которой без пробела по правилам маркировки легированных сталей следует (-ют) пара (-ы) символов, обозначающих легирующий элемент и целое число его процентов:

<b>Ч</b>	Символ легирующего элемента	Целое число процентов легирующего элемента
----------	-----------------------------	--

Примеры марок специальных серых легированных чугунов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Примеры марок специальных серых чугунов

Жаростойкие	Коррозионностойкие	Жаропрочные
<b>ЧС5, ЧХ28, ЧХ32, ЧН15Д7, ЧН15ДЗШ*</b>	<b>ЧС13, ЧС15, ЧС17, ЧС15М4, ЧС17МЗ, ЧН15Д7</b>	<b>ЧН19ХЗШ*, ЧН11Г7Ш*</b>

\* Буква **Ш** в конце марки указывает на шаровидную форму графита.



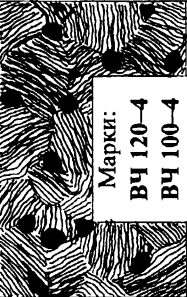



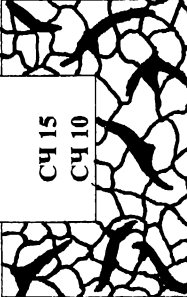
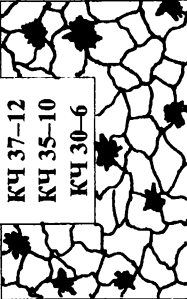

Названия серых чугунов	Форма графитных включений		
	Пластинчатые	Хлопьевидные	Гобулярные
	Название чугуна по форме графитных включений		
	Серый	Ковкий	Высокопрочный
Перлитный	 <div>Марки: СЧ 45 СЧ 40</div>	 <div>Марки: КЧ 63-2 КЧ 60-3</div>	 <div>Марки: ВЧ 120-4 ВЧ 100-4</div>
	 <div>СЧ 35 СЧ 21 СЧ 18</div>	 <div>КЧ 56-4 КЧ 50-4 КЧ 45-6</div>	 <div>ВЧ 80-3 ВЧ 50-2 ВЧ 45-5</div>
	 <div>СЧ 15 СЧ 10</div>	 <div>КЧ 37-12 КЧ 35-10 КЧ 30-6</div>	 <div>ВЧ 42-12 ВЧ 38-17</div>
Название чугуна по строению металлической основы			

Рис.2.4. Классификация и названия серых чугунов по форме графитных включений и строению металлической основы

### 2.2.3. Белые износостойкие легированные чугуны

Чугуны указанного класса маркируются буквосочетанием **ИЧ** (*износостойкий чугун*), за которым следует трехзначное число сотых долей процента углерода и далее пара(-ы) символов, обозначающих легирующий элемент и целое число его процентов:

<b>ИЧ</b>	Трехзначное число сотых долей процента углерода	Символ легирующего элемента	Целое число процентов легирующего элемента
-----------	---	-----------------------------	--

Примеры марок белых износостойких легированных чугунов приведены в табл. 2.2 [8].

Таблица 2.2

Примеры марок белых износостойких легированных чугунов

Класс износостойких чугунов по химическому составу	Марки
Никельхромистые	<b>ИЧ280Х28Н2, ИЧ250Х25НТ</b>
Хромомолибденовые	<b>ИЧ290Х12М, ИЧ300Х16МТ</b>
Хромомарганцевые	<b>ИЧ210Х12Г5, ИЧ280Х12Г5, ИЧ170Х30Г3, ИЧ210Х30Г3</b>
Хромоникельмарганцевые	<b>ИЧ260Х17НЗГ3</b>
Хромомарганцеволибденовые	<b>ИЧ290Х12Г5М</b>

## Глава 3. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

На примере развитой системы маркировки сталей можно убедиться, что марка материала тем информативней, чем большее число его характеристик в ней отражается. В материаловедении существуют развитые системы маркировки и других классов материалов, в частности сплавов цветных металлов, марка которых сообщает о классе материала, его химическом составе и способе получения изделий из него. На рис.3.1 – 3.5 приведены классификации наиболее известных сплавов цветных металлов, к которым относят сплавы на основе меди, алюминия, титана и магния.

### 3.1. Классификация и маркировка сплавов меди

Медь – один из первых металлов, с которым познакомился человек. Это обусловлено тем, что медь чаще, чем другие металлы, встречается в природе в виде самородков, иногда весьма больших по размеру.

Свойства чистой меди в значительной степени зависят от наличия в ней ряда примесей, главным образом висмута, сурьмы, свинца, серы и кислорода. В зависимости от чистоты техническую медь подразделяют на несколько сортов: **M00**, **M0**, **M0б**, **M1б**, **M1**, **M1р**, **M2**, **M2р**, **M3**, **M3р**, (где **б** – бескислородная медь, а **р** – раскисленная медь). Наименьшее содержание примесей – в меди марки **M00** (99,99 мас.% Cu) и наибольшее – в **M3** (99,5 мас.% Cu).

В меди марок **M1**, **M2** и **M3** содержание кислорода составляет 0,05...0,08%. Раскисленная медь отличается от обычных марок пониженным содержанием кислорода (не более 0,01%), хотя его и больше, чем в бескислородной меди ( $\leq 0,001$  мас.% O<sub>2</sub>) [13].

Сплавы меди с цинком называют латунями, при этом выделяют томпаки (до 10 мас.% Zn) и полутомпаки (от 10 до 20 мас.% Zn). Все остальные сплавы меди, за исключением сплавов с никелем, называют бронзами. Таким образом, все сплавы меди принято классифицировать по трем группам (см. рис.3.1).

**Латуни** – это двойные или многокомпонентные сплавы меди, в которых вторым основным компонентом является цинк (Zn). Если латунь является двухкомпонентным сплавом (только меди и цинка), ее считают нелегированной.

**Бронзы** – это сплавы меди с любыми другими элементами, в числе которых (но только наряду с другими) может быть и цинк.



Рис. 3.1. Классификация сплавов на основе меди

Двухкомпонентные бронзы, как правило, имеют названия, производные от названия второго компонента: оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые, свинцовистые и т.д. При дополнительном легировании название каждого из упомянутых классов бронз сохраняется.

**Медно-никелевые сплавы** – это сплавы, в которых основным легирующим элементом является никель. Как правило, это двойные, а чаще более сложные сплавы, в которых наряду с никелем дополнительно присутствуют Fe, Mn, Zn, Al и другие элементы. В зависимости от системы леги-

рования каждая группа медно-никелевых сплавов имеет свое название (см. рис. 3.1).

По технологическому признаку все сплавы меди относят к классу либо литейных, либо деформируемых.

### 3.1.1. Маркировка латуней

Двухкомпонентные (Cu + Zn) *деформируемые латуни* обозначают буквой **Л** и цифрой, указывающей массовое содержание меди в процентах:

Целое число процентов меди
-------------------------------

Л

Примеры: **Л96**, **Л70**, **Л63**.

Если латунь легирована, т.е. кроме цинка содержит другие элементы, то после буквы **Л** ставят подряд, без пробелов, условные буквенные обозначения этих элементов, кроме цинка. За ними без пробела следует серия целых чисел, первое из которых показывает массовое содержание меди, а другие, разделяемые дефисом – массовое содержание легирующих элементов в соответствии с последовательностью их символов. Например, марка **ЛАН59–3–2** означает: латунь деформируемая, легированная, содержит 59 мас.% меди, около 3 мас.% алюминия и около 2 мас.% никеля (цинк – остальное). Другие примеры марок легированных деформируемых латуней: **ЛАЖ60–1–1**, **ЛЖМц59–1–1**, **ЛА77–2**, **ЛМцА57–3–1**.

Условные обозначения компонентов и наиболее распространенных легирующих элементов сплавах меди показаны в табл. 3.1. Обратите внимание, что некоторые из них отличаются от условных обозначений этих же элементов в марках сталей.

Маркировка *литейных латуней* осуществляется иначе. Марка литейной латуни также начинается с буквы **Л**, но за ней следует без пробела символ второго главного компонента, цинка, и также без пробела и черточки целое число его процентов.

Целое число процентов цинка
--------------------------------

ЛЦ

Примером таких марок двухкомпонентных литейных латуней могли бы быть **ЛЦ40**, **ЛЦ30** и др.

Таблица 3.1

Условные обозначения компонентов и легирующих элементов  
в марках сплавов на основе меди

Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке	Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке
Sn	Олово	<b>О</b>	P	Фосфор	<b>Ф</b>
Zn	Цинк	<b>Ц</b>	Pb	Свинец	<b>С</b>
Al	Алюминий	<b>А</b>	Si	Кремний	<b>К</b>
Mn	Марганец	<b>Мц</b>	Ti	Титан	<b>Т</b>
Be	Бериллий	<b>Б</b>	Cr	Хром	<b>Х</b>
Fe	Железо	<b>Ж</b>	Sb	Сурьма	<b>Су</b>
Ni	Никель	<b>Н</b>	Zr	Цирконий	<b>Цр</b>

Однако в арсенале современных сплавов меди все литейные латуни имеют более сложный химический состав, т.е. являются легированными. Поэтому в марке за символом **Ц** и целым числом массовых процентов цинка следуют поочередно без пробелов и черточек символы других легирующих элементов с указанием их концентрации также в виде целого числа массовых процентов.

Если концентрация легирующего элемента округленно равна одному массовому проценту, цифра 1 после буквенного символа данного элемента не ставится. Подобный принцип описания химического состава уже известен нам по маркировке легированных сталей. Примеры марок легированных литейных латуней: **ЛЦ23А6ЖЗМц2**, **ЛЦ40МцЗЖ**, **ЛЦ40С**, **ЛЦ16К4**.

### 3.1.2. Маркировка бронз

Марка любой бронзы начинается с буквосочетания **Бр**, после которого точка не ставится. Далее для деформируемых и литейных бронз, как и при маркировке латуней, реализуются различные правила маркировки.



В марке *деформируемой бронзы* за буквосочетанием **Бр** без пробелов указывается последовательность символов легирующих элементов (см. табл. 3.1), а за ней также без пробела начинается последовательность целых или дробных чисел (с точностью до одной десятой), между собой разделяемых черточками и указывающих концентрацию элементов в массовых процентах. Примеры: **БрОФ6,5–0,4**; **БрОЦС4–4–2,5**; **БрОЦ4–3**; **БрСуН6–2**; **БрСуНЦФ3,5–3,5–3,5–20–0,2**.

В марке *литейной бронзы* за буквосочетанием **Бр** следуют поочередно без пробелов и черточек символ легирующего элемента и сразу за ним целое или дробное число, указывающее концентрацию в массовых процентах. Примеры: **БрО3Ц12С5**; **БрО3Ц7С5Н1**; **БрО10Ф1**; **БрБ2,5**; **БрХ0,5**.

### **3.1.3. Маркировка медно-никелевых сплавов**

Марка любого медно-никелевого сплава начинается с буквы **М**, за которой следует обозначение и содержание легирующих элементов – как в деформируемых латунях и бронзах (см. табл.3.1).

К конструкционным медно-никелевым относят сплавы, обладающие повышенной прочностью, высокой коррозионной стойкостью и входящие в следующие системы легирования:

- *мельхиоры* – двойные (Cu–Ni) и многокомпонентные (Cu–Ni–Te–Mn) сплавы, например **МН19**, **МНЖМц 30–1–1**;
- *нейзильберы* – сплавы системы Cu–Ni–Zn, например **МКЦ15–20**, или сплав со свинцом **МНЦС16–29–1,8**;
- *куниали* – сплавы системы Cu–Ni–Al. Если перед маркировкой кунiali стоит буква **А**, то ее используют для изготовления изделий повышенной прочности (**АМНА13–3**), а если буква **Б** – то для ответственных упругих элементов (**БМНА6–1,5**).

Для нужд электротехнической промышленности разработаны специальные медно-никелевые сплавы, которые помимо высокого электрического сопротивления обладают малым температурным коэффициентом электросопротивления (незначительное повышение электросопротивления с ростом температуры).

Этим условиям удовлетворяют медно-никелевые сплавы с марганцем: *константан* **МНМц 40–1,5** (40 % Ni, 1,5 % Mn, остальное Cu); *копель* **МНМц 43–0,5** и *манганин* **МНМц 3–12**.

### 3.2. Классификация и маркировка сплавов алюминия

В промышленности алюминий используется как в чистом виде, так и в виде различных сплавов. Маркировка алюминия начинается с буквы А, затем идет цифра, указывающая содержание алюминия в сотых долях процента. Например, алюминий марки **A97** содержит алюминия 99,97 %, остальное – контролируемые примеси [14].

Постоянные примеси алюминия – Fe, Si, Cu, Zn и Ti. В зависимости от содержания примесей первичный алюминий подразделяют на три класса:

- 1) особой чистоты (**A999**);
- 2) химически чистый (**A995, A99, A97, A95**);
- 3) технически чистый (**A85, A8, A7, A6, A5, A0** и **A**).

В электротехнике применяют алюминий марок **A7E, A6E, A5E** и **AE**, где буква **E** указывает на его электротехническое назначение. Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листы, профили, прутки и др.) маркируют **AD0** и **AD1**. Алюминиевую проволоку, в зависимости от исходных механических свойств, выпускают нескольких сортов, которые маркируют **АП**, **АТ**, **АПТ** и **АМ** – соответственно твердая повышенной прочности, твердая, полутвердая и мягкая.

Ввиду низкой прочности и незначительной упрочняемости при холодной пластической деформации чистый алюминий как конструкционный материал применяют сравнительно редко. Более широко используют сплавы алюминия, которые характеризуются высокой удельной прочностью, способностью сопротивляться статическим и динамическим нагрузкам, в том числе и при повышенных температурах, отличаются хорошей технологичностью. Классификация наиболее известных алюминиевых сплавов приведена на рис. 3.2.

Основными легирующими элементами алюминиевых сплавов являются Cu, Mg, Si, Mn, Zn, реже Li, Ni, Ti [15]. Такие элементы, как Cu, Zn, Mg, Ni, Fe и Mn участвуют в формировании прочностных свойств, причем Mn одновременно повышает коррозионную стойкость. Кремний является основным легирующим элементом в ряде литейных сплавов (силуминов), поскольку участвует в образовании эвтектики. Такие элементы, как Ni, Ti, Cr, Fe повышают жаропрочность сплавов, затормаживая процессы диффузии и образуя стабильные сложнелегированные упрочняющие фазы. Литий в сплавах способствует возрастанию их модуля упругости. Магний и мар-

ганец снижают тепло- и электропроводность алюминия, а железо – его коррозионную стойкость. Алюминиевые сплавы можно условно разделить на конструкционные и электротехнические.



Рис. 3.2. Классификация сплавов на основе алюминия

**Маркировка конструкционных алюминиевых сплавов.** В настоящее время одновременно действуют две маркировки сплавов: старая буквенно-цифровая (табл. 3.2) и новая цифровая (рис. 3.3).

Разные организации, присваивая буквенно-цифровые марки сплавам, руководствовались разными принципами. Есть марки, которые характеризуют состав сплава, например **АМг2** (алюминий + 2% магния), **АМц** (алюминий + 1% марганца). Другие марки отражают технологию получения изделий, например **АЛ2**, **АЛ4**, **АЛ7**, где буквы **АЛ** показывают, что сплав алюминиевый литейный, а цифры после букв – порядковые номера сплавов, не несущие никакой полезной информации о сплаве; **АК4**, **АК6** – алюминиевые сплавы дляковки. В марках многих сплавов отражена организация-разработчик; так, **ВАЛ8**, **ВАЛ10**, **ВАЛ14** – литейные сплавы, раз-

работанные в ВИАМе (Всесоюзный институт авиационных материалов), ВАД1, ВАДЗ – деформируемые сплавы, разработанные в ВИАМе.

Таблица 3.2

Буквенно-цифровая маркировка алюминиевых сплавов

Принцип классификации	Сплав	
	Название	Марка
По химическому составу	–	АМг, АМц
По назначению сплава	Дуралюминий	Д1, Д6
По технологическому назначению	Ковочный	АК6, АК8
По свойствам	Высокопрочный	В95, В96
По методу получения полуфабрикатов и изделий	Спеченный	САП, САС,
	Литейный	АЛ2
По виду полуфабрикатов	Проволочный	АМг5П*

\* Буква П, входящая в маркировку сплава, указывает на то, что сплав проволочный.

С 1970 г. для маркировки любых алюминиевых сплавов была введена единая цифровая система [13]. В соответствии с цифровой маркировкой первая цифра показывает основу сплава (для алюминия 1), вторая цифра обозначает систему легирования (показывает основные легирующие компоненты), третья и четвертая цифры – порядковый номер сплава и технологию получения изделий.

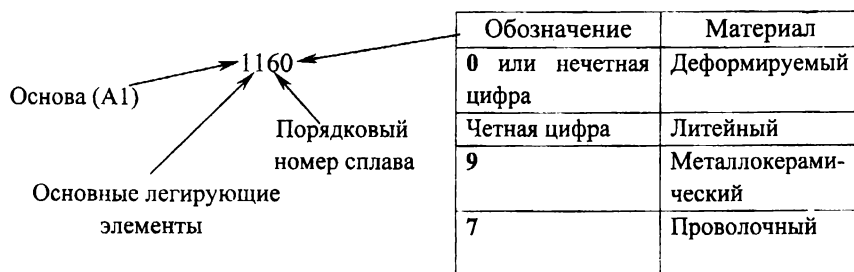


Рис. 3.3. Принципы цифровой маркировки алюминиевых сплавов

При этом для деформируемых сплавов последняя цифра должна быть 0 или нечетная цифра, а для литейных – четная цифра. Таким образом, главная информация о составе сплава определяется второй цифрой марки. Для цифр, стоящих в марке на втором месте, приняты следующие обозначения:

- 0 – легирующих элементов нет, есть только примеси, т.е. обозначение разных сортов технического алюминия;
- 1 – сплавы систем Al–Cu–Mg и Al–Mg–Fe–Ni;
- 2 – сплавы систем Al–Cu–Mn и Al–Li–Cd–Mn;
- 3 – сплавы систем Al–Mg–Si и Al–Mg–Si–Cu;
- 4 – сплавы, легированные Li, а также малорастворимыми в алюминии компонентами Mn, Cr, Zr, Ni, Be и др;
- 5 – сплавы системы Al–Mg;
- 9 – сплавы систем Al–Zn–Mg и Al–Zn–Mg–Cu.

Цифры 6, 7 и 8 (на втором месте) для маркировки алюминиевых сплавов пока не используются. Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Примеры маркировок алюминиевых сплавов

Легирующие элементы	Маркировка		Легирующие элементы	Маркировка	
	Буквенно-цифровая	Цифровая		Буквенно-цифровая	Цифровая
Al	АД00	1010	Cu Mg Mn Si	АК6 АК8	1360 1380
Mn	АМц	1400	Cu Mg Fe Ni Si	АК4 АК4–1	1140 1141
Mg–Mn	Амг1 Амг5	1510 1550	Zn–Mg	–	1911
Mg–Si	АВ	1343	Zn–Mg–Cu	В95 В96Ц1	1950 1960
Cu–Mg	Д1 Д16 ВАД1 Д18	1100 1160 1191 1187	Cu–Mn	Д20	1200 1201

Цифровая маркировка всеобщего распространения не получила и используется преимущественно для обозначения деформируемых алюминиевых сплавов нового поколения. Для литейных алюминиевых сплавов цифровая маркировка вообще не нашла применения. Для них разработана и введена единая система буквенно-цифровой маркировки [16]. Эта система аналогична применяемой для сталей, однако обозначения химических элементов имеют свои особенности (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Условные обозначения легирующих элементов  
в марках алюминиевых сплавов

Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке
Al	Алюминий	<b>А</b>
Si	Кремний	<b>К</b>
Cu	Медь	<b>М</b>
Mg	Магний	<b>Мг</b>
Mn	Марганец	<b>Мц</b>
Ni	Никель	<b>Н</b>
Zn	Цинк	<b>Ц</b>

В результате марку сплава записывают следующим образом: первая буква, **А**, показывает алюминий, последующие буквы – основные легирующие элементы, а числа, стоящие после букв, показывают среднее содержание данного компонента в процентах по массе.

Если содержание компонента меньше единицы, буква, обозначающая данный компонент, в марке обычно не указывается.

Примеры записи марок литейных алюминиевых сплавов выглядят следующим образом: **АК5М**, **АК12М2МгН**, **АМг5Мц**, **АМц4Мг**, **АК21М2**, **5Н2,5**.

Буквы **Ч** (чистый) и **ОЧ** (особой чистоты) ставятся в конце маркировки и указывают на повышенную чистоту сплавов по примесям железа и кремния.

Наряду с рассмотренными системами маркировок алюминиевых сплавов имеется буквенно-цифровая маркировка технологической обра-

ботки полуфабрикатов и изделий, качественно отражающая механические, химические и другие свойства сплава (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Буквенно-цифровая маркировка технологической обработки деформируемых и литейных сплавов

Обозначение	Вид обработки, характеристика свойств материала	
	Деформируемый сплав	Литейный сплав
<b>М</b>	Мягкий, отожженный	Модифицированный
<b>Т</b>	Закаленный и естественно состаренный	—
<b>Т1–</b>	Закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность	Состаренный
<b>Т2–</b>	Закаленный и искусственно состаренный по смягчающему режиму для повышения вязкости разрушения	Отожженный
<b>Т3–</b>	Закаленный и искусственно состаренный по смягчающему режиму для повышения сопротивления коррозии под напряжением	—
<b>Т4</b>	—	Закаленный
<b>Т5–</b>	—	Закаленный и частично состаренный
<b>Т6–</b>	—	Закаленный и полностью состаренный на максимальную твердость
<b>Т7–</b>	—	Закаленный с последующим стабилизирующим отпуском
<b>Т8–</b>	—	Закаленный с последующим смягчающим отпуском
<b>Н</b>	Нагартованный (5 – 7 %)	—
<b>П</b>	Полунагартованный	—
<b>Н1</b>	Усиленно нагартованный (20%)	—
<b>ТН</b>	Закаленный, естественно состаренный и нагартованный	—
<b>Т1Н</b>	Закаленный, нагартованный и искусственно состаренный	—
<b>ТПН</b>	Закаленный и естественно состаренный, повышенной прочности	—
<b>ГК</b>	Горячекатаные (листы, плиты)	—
<b>А</b>	Нормальная плакировка	—
<b>У</b>	Утолщенная плакировка (8% на сторону)	—

**Маркировка электротехнических алюминиевых сплавов.** Для этих сплавов действует буквенно-цифровая система маркировки [17].

Для изготовления холоднотянутой электротехнической проволоки используют алюминий марки **АД1** и алюминиевые деформируемые сплавы марок **АМц**, **АМг2**, **АМг5П**, **Д1П**, **Д16П**, **Д18** и **В65**, где **А** обозначает алюминий, **Д** – деформируемый сплав, **Мц** – марганец, **Мг** – магний, **П** – сплав холодной высадки (разновидность обработки давлением), **В** – высокопрочный деформируемый сплав. Цифра, стоящая за обозначением элемента, показывает его содержание в процентах.

Из электротехнических сплавов системы **Al–Mg–Si–Fe** наиболее известен сплав *альдрей* (**АВ**), который используют для производства контактных проводов.

### 3.3. Классификация и маркировка сплавов титана

В промышленности титан используется как в чистом виде, так и в виде различных сплавов. Маркируют технический титан буквами **ВТ**, за которыми сразу стоит цифра **1** (**ВТ1**). Далее через черточку ставится цифра, характеризующая чистоту технического титана. Контролируемыми примесями в титане являются следующие элементы: **Fe**, **Si**, **C**, **Cl**, **N<sub>2</sub>** и **O<sub>2</sub>**. Если содержание примесей в сумме менее 0,10 %, то такой титан относят к самому чистому (иодидному) и маркируют **ВТ1–00**. Далее по степени чистоты (по убывающей) выделяют следующие сорта технического титана: **ВТ1–0**, **ВТ1–1** и **ВТ1–2** [18].

Классификация основных сплавов титана приведена на рис. 3.4. Как любая классификация, она не может считаться полной, так как титановые сплавы классифицируют часто по структуре, по составу, по склонности к упрочнению, по прочности и т.д. В ряде случаев применяют классификацию по элементам – стабилизаторам соответствующих фаз. Однако все эти классификации весьма сложны и имеют ограниченное ведомственное применение.

В маркировке сплавов титана какие-либо специальные системообразующие символы отсутствуют. Все промышленные деформируемые сплавы титана маркируют двумя буквами (**ВТ**, **ОТ**, **ПТ** и **АТ**), за которыми сразу без пропуска следует цифра, обозначающая порядковый номер сплава и не дающая о нем никакой полезной информации. Примеры записи марок



деформируемых титановых сплавов выглядят следующим образом: **BT3, BT6, ПТ7, ОТ4, АТ6, BT22, BT35.**

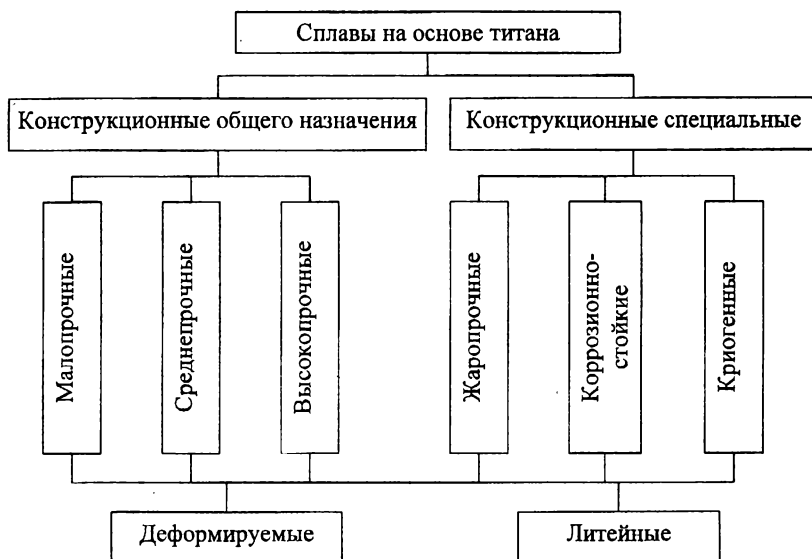


Рис.3.4. Классификация сплавов на основе титана

Литейные сплавы титана по составу аналогичны деформируемым. Для них в конце марки сплава пишется буква **Л**, например: **BT1Л, BT5Л, BT21Л.**

Для того чтобы узнать химический состав титанового сплава и определить его структурную принадлежность, необходимо обратиться к специальной справочной литературе, где приводятся данные обо всех известных сплавах титана.

### 3.4. Классификация и маркировка сплавов магния

Классификация основных сплавов магния приведена на рис. 3.5. Эта классификация практически полностью отражает все группы сплавов магния, используемых в настоящее время.

Чистый магний из-за низких механических свойств как конструкционный материал практически не применяют. В зависимости от чистоты его

используют в пиротехнике, в химической промышленности (как катализатор), в металлургии различных металлов и сплавов (как раскислитель, восстановитель и легирующий элемент).

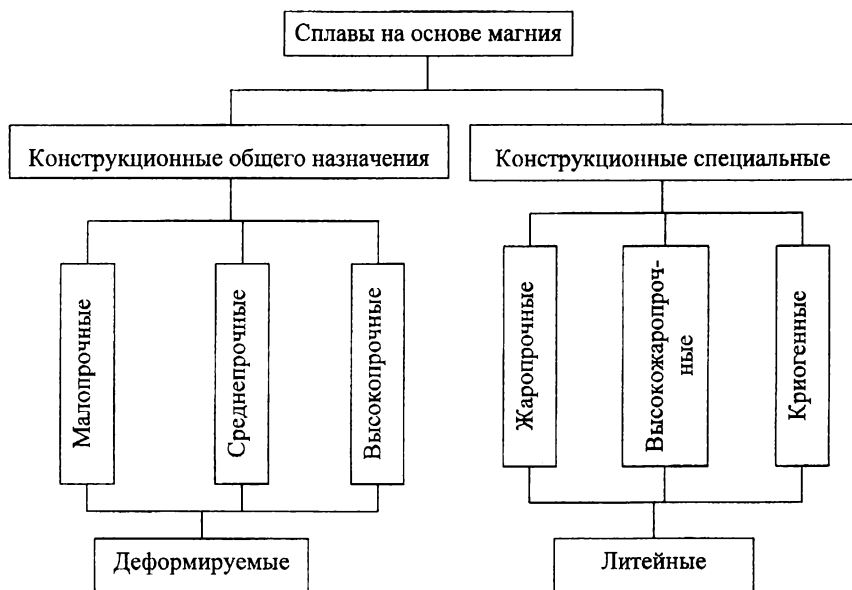


Рис.3.5. Классификация сплавов на основе магния

Суммарное число контролируемых примесей (Fe, Si, Ni, Cu) определяет марку магния [19]. Маркируют технический магний двубуквенным символом **Mg**, затем идет цифра, указывающая содержание магния с точностью до сотых долей процента. Например, магний марки **Mg96** содержит 99,96% магния, а остальное – контролируемые примеси. Для промышленности установлены следующие марки магния: **Mg96**, **Mg95**, **Mg90**. В определенных случаях используют особо чистый магний марки **Mg9999**.

Основными легирующими элементами магниевых сплавов являются Al, Zn, и Mn. Однако они в маркировке не отражаются, и все магниевые сплавы маркируют буквой **M**. За ней ставится буква **A** или **L** в зависимо-

сти от принадлежности сплава к деформируемым или литейным. Далее без пропуска следует цифра, обозначающая порядковый номер сплава.

Маркировка магниевых сплавов будет выглядеть следующим образом: для деформируемых – **МА1, МА5, МА15, МА21**; для литейных – **МЛ4, МЛ12, МЛ17, МЛ19**.

По составу деформируемые и литейные сплавы магния практически идентичны и отличаются только содержанием примесей. В зависимости от чистоты этих сплавов к марке добавляют строчные буквы **пч** (сплав повышенной чистоты), например: **МЛ5пч** или **МА5пч**.

## **Глава 4. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ С ОСОБЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Стали и сплавы с особыми физическими свойствами относятся к классу прецизионных и характеризуются точным химическим составом, отсутствием вредных примесей и неметаллических включений. Они, как правило, имеют заданную, созданную специальными деформационными и тепловыми обработками, структуру. Все это позволяет достигнуть определенных, нормируемых параметров сплавов, которые должны быть стабильными и обеспечивать надежность материалов в течение всего жизненного цикла изделия [20].

На рисунке представлена классификация сталей и сплавов с особыми физическими свойствами, в которой в зависимости от задаваемых свойств все материалы подразделяются на соответствующие классы.

В маркировке этих материалов единой системы нет. Определенная группа материалов на основе сталей и цветных сплавов маркируется в соответствии с правилами, изложенными в соответствующих разделах данного пособия. Это главным образом относится к металлическим материалам с особыми электрическими, тепловыми и упругими свойствами.

Для магнитных металлических материалов в зависимости от класса имеются свои особенности маркировки.

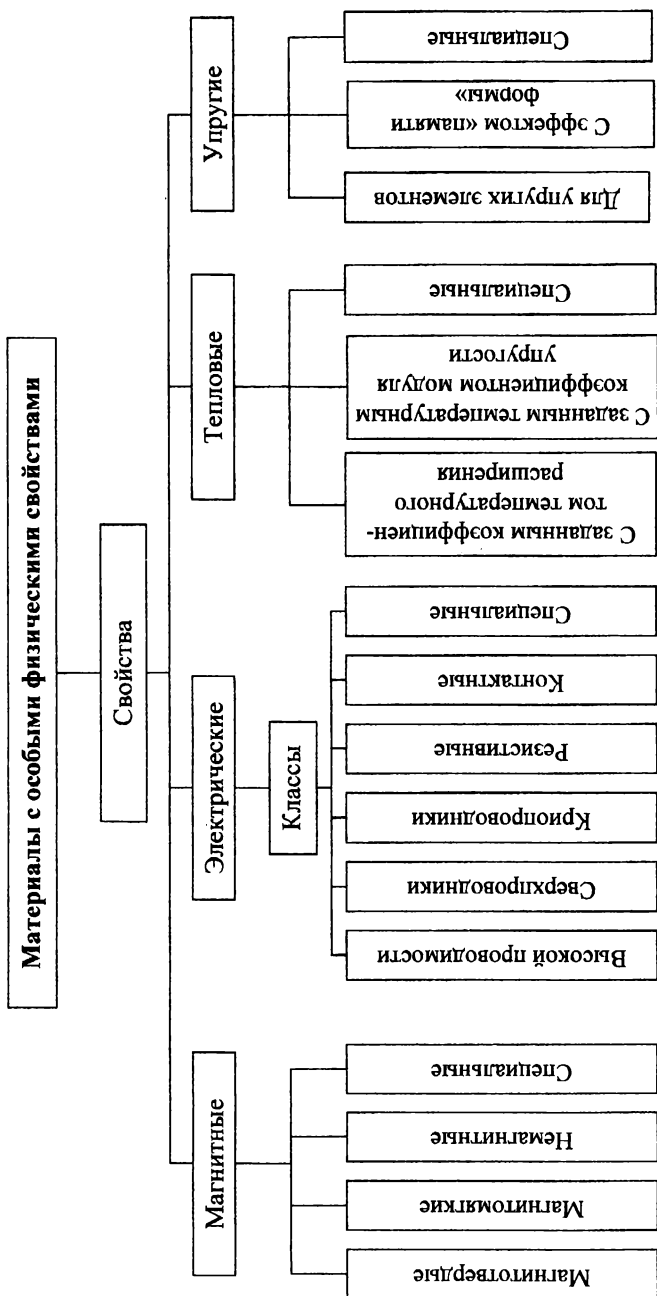
### **4.1. Маркировка магнитомягких материалов**

Магнитомягкие материалы намагничиваются в слабых магнитных полях вследствие большой магнитной проницаемости и малых потерь на перемагничивание. Для магнитомягких материалов характерна узкая петля гистерезиса. Металлические материалы, используемые в качестве магнитомягких, относятся только к низкочастотным.

Наиболее широко в этом качестве используется кремнистая электротехническая сталь.

Маркировка кремнистой электротехнической стали в виде рулонов, листов и лент производится четырьмя цифрами:

- Первая цифра определяет вид проката и структуру (1 – горячекатаная изотропная сталь, 2 – холоднокатаная изотропная сталь, 3 – холодно-



Классификация сталей и сплавов с особыми физическими свойствами

катаная анизотропная сталь с ребровой текстурой в направлении [100], 5 – холоднокатаная изотропная сталь с плоскостной кубической текстурой).

- Вторая цифра показывает содержание кремния (0 – менее 0,4%; 1 – 0,4...0,8%; 2 – 0,8...1,8%; 3 – 1,8...2,8%; 4 – 2,8...3,8%; 5 – 3,8...4,8%).

- Третья цифра показывает потери ( $P$ ) на гистерезис и тепловые потери при определенном значении магнитной индукции ( $B$ , Тл) и частоте ( $f$ , Гц) (0 –  $P_{1,7/50}$ ; 1 –  $P_{1,5/50}$ ; 2 –  $P_{1,0/400}$ ; 3 –  $P_{0,5/3000}$ ).

- Четвертая цифра показывает тип стали и уровень основной нормируемой характеристики (1 – нормальный, 2 – повышенный, 3 – высокий).

Стальную продукцию изготавливают с защищенной и незащищенной покрытиями поверхностью. Термостойкие покрытия обозначают буквой **T**, а нетермостойкие – буквой **H**. Дополнительно ставят букву **Ш**, если сталь улучшенной штампуемости.

Например, марка **2211** представляет собой кремнистую электротехническую сталь, холоднокатаную, изотропную, с содержанием кремния в интервале 0,8...1,8%, с удельными потерями  $P_{1,5/50} = 7,0$  Вт/кг и нормальным уровнем основной нормируемой характеристики.

Отдельную группу низкочастотных материалов составляют пермаллои – сплавы железа с никелем (Fe–Ni), железа с никелем и кобальтом (Fe–Ni–Co) и железа с кобальтом (Fe–Co).

Маркировка пермаллоев основана на их химическом составе. Первая цифра и следующая за ней буква **H** или **K** указывают на содержание никеля или кобальта в процентах. Последующие буквы характеризуют систему легирования пермаллоев и имеют условное обозначение как в легированных сталях (**K**, **M**, **X**, **C**, **Φ** – соответственно кобальт, молибден, хром, кремний и ванадий). Цифры, характеризующие содержание этих легирующих элементов (в отличие от сталей), не ставятся, и полный химический состав сплава определяется по справочникам.

В ряде случаев концентрация легирующего элемента указывается, и тогда цифра, показывающая его концентрацию в целых долях процента, ставится перед его условным обозначением. Буквы **П**, **У** и **А** в конце маркировки обозначают соответственно прямоугольную петлю гистерезиса, сплав с улучшенными свойствами и сплав с более точным составом.

Например, марка **34НKMΠ** представляет собой пермаллой, содержащий 34 мас.% никеля, легированный кобальтом и молибденом, с прямоугольной петлей гистерезиса.

Примеры записи других сплавов выглядят следующим образом: **79НM**, **80НХC**, **70НХД**, **48КНФ**, **49К2Ф**, **27КХ**.

## 4.2. Маркировка магнитотвердых материалов

Магнитотвердые материалы намагничиваются в сильных магнитных полях, имеют большие потери при перемагничивании вследствие малой магнитной проницаемости. Для магнитотвердых материалов характерна широкая петля гистерезиса. В качестве магнитотвердых металлических материалов используют высокоуглеродистые стали мартенситного класса и литые высококоэрцитивные сплавы.

В основе маркировки магнитотвердых сталей лежит буква **Е**, которая является базовым системообразующим символом и ставится в начале марки. Эти стали высокоуглеродистые, содержание углерода в них всегда 0,9...1,1 %, и в маркировке он не указывается. Далее за буквой **Е** указывается марочный химический состав стали по правилам, представленным в п. 1.2. данного пособия:

**Е**

Марка легированной качественной  
конструкционной стали

Например, марка **ЕХ9К15M2** означает, что это магнитотвердая сталь, содержащая около 9% хрома, 15% кобальта, 2% молибдена, а также около 1% углерода. Другие примеры записи сталей этого класса: **ЕХ3**, **ЕХ5K5**.

К литым высококоэрцитивным сплавам относятся тройные сплавы системы Fe–Al–Ni (*альни*). Марки этих сплавов начинаются с букв **Ю** и **Н**, которые соответственно означают алюминий и никель. Затем проставляются буквенные символы легирующих элементов: **Д** – медь, **К** – кобальт, **С** – кремний, **Т** – титан, **Б** – ниобий. После буквы идет цифра, указывающая процентное содержание данного элемента. Буква **А** или буквы **БА** в конце маркировки означают, что сплавы имеют столбчатую структуру, а буквы **АА** соответствуют монокристаллической структуре сплава.

**ЮН** Система легирования сплава **А (БА)**.

**ЮН** Система легирования сплава **АА**.

Например, марка сплава **ЮНДК15А** означает, что это сплав класса альни, относится к литым магнитотвердым сплавам, дополнительно легирован медью и кобальтом и имеет столбчатую структуры. Точный химический состав сплава можно определить по справочнику.



## Глава 5. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Порошковые материалы получают методом порошковой металлургии из специально подготовленных порошков различного химического состава. Технологический процесс получения изделий из порошков включает получение порошков, подготовку шихты, формование, спекание, горячее прессование и штамповку. Иногда применяют дополнительную обработку, состоящую из термической и химико-термической обработки, калибровки или пропитки деталей смазками. Несмотря на довольно длительный технологический цикл изготовления, продукция порошковой металлургии весьма востребована и экономически целесообразна.

Порошковая металлургия позволяет создавать сплавы любого состава из металлических или из смесей металлических и неметаллических порошков, которые практически взаимно не растворяются при плавлении или могут разлагаться при высоких температурах. Например, железо и свинец, алюминий и никель, медь и графит, металлы и оксиды. Методом порошковой металлургии можно получить сплавы с заранее заданными свойствами. Образующиеся материалы часто называют металлокерамическими по аналогии с производством изделий из керамики.

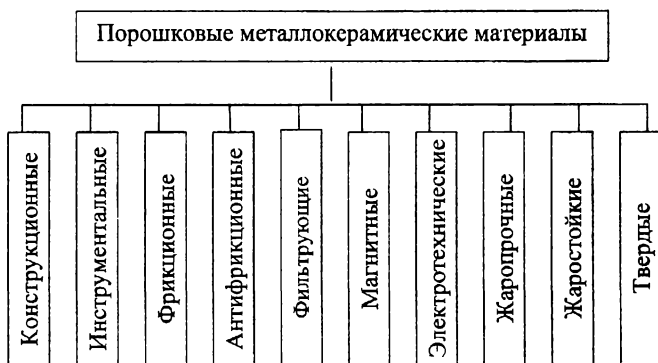


Рис. 5.1. Классификация порошковых материалов

К металлокерамическим материалам относят сплавы для конструкционных деталей, твердые и инструментальные сплавы, специальные сплавы и ряд других (рис.5.1).

Все порошковые материалы, за исключением твердых, маркируются по аналогии с конструкционными сталями, в зависимости от материала основы. Твердые сплавы имеют свою собственную маркировку.

### 5.1. Порошковые конструкционные материалы

Конструкционные детали являются наиболее распространенным видом продукции порошковой металлургии. В зависимости от предполагаемых условий работы все они подразделяются на 4 группы по плотности и могут изготавливаться из порошков на основе железа, порошков углеродистых и легированных сталей, а также порошков цветных металлов и сплавов (рис. 5.2) [20].



Рис. 5.2. Классификация порошковых конструкционных материалов

Для обозначения конструкционных порошковых материалов также используется буквенно-цифровая маркировка.

### **5.1.1. Маркировка порошковых материалов на основе железа**

Марка этих материалов начинается с буквы **Ж**, за которой следуют поочередно без пробелов и черточек буквенные обозначения легирующих элементов, и сразу за ними – целые или дробные числа, указывающие их концентрацию в массовых процентах. Далее в конце марки через тире ставится цифра, указывающая плотность материала в г/см<sup>3</sup>. Например, марка **ЖГр0,4Д4НЗ–7,3** означает, что это порошковый конструкционный металлокерамический материал, содержащий примерно 0,4% графита, 4% меди, 3% никеля и остальное – железо.

Плотность этого материала составляет 7,3 г/см<sup>3</sup>. Другие примеры марок порошковых материалов на основе железа: **ЖГр0,5–7,3**; **ЖГр0,2НЗХ2–7,3**; **ЖГр1Д2,5МЗ–7,6**.

Условные обозначения компонентов и наиболее распространенных легирующих элементов в этих материалах показаны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Условные обозначения компонентов и легирующих элементов  
в марках порошковых сплавов на основе железа

Химический символ	Наименование легирующего элемента	Обозначение в марке
Fe	Железо	<b>Ж</b>
C	Графит	<b>Гр</b>
Cu	Медь	<b>Д</b>
Ni	Никель	<b>Н</b>
Sn	Олово	<b>О</b>
Mo	Молибден	<b>М</b>

Обратите внимание, что условное обозначение некоторых элементов записывается как в марках сталей, а некоторых – как в марках цветных сплавов.

### **5.1.2. Маркировка порошковых материалов на основе сталей**

В марках порошковых конструкционных материалов из углеродистых и легированных сталей первая буква определяет класс материалов: **С** – сталь, вторая буква, **П**, указывает, что эти материалы получены методами порошковой металлургии. Первая цифра после букв **СП**, как и в случае конструкционных сталей, показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Последующие буквы обозначают легирующие элементы, а цифры после них – среднее содержание этих элементов в целых процентах. Условное обозначение легирующих элементов и их массовой доли в материале аналогично обозначению, приведенному в п. 1.2. В конце марки через тире указывается группа плотности материала (1–4). Например, марка материала **СП30Г2–2** означает, что это конструкционная сталь, полученная методом порошковой металлургии, содержащая 0,30 мас.% С, около 2мас.% марганца и имеющая 2-ю группу плотности.

Другие примеры марок порошковых материалов на основе сталей разного класса: **СП30–1**, **СП50ХНМ–3**, **СП60ХН2М–4**, **СП08Х18Н15–4**.

### **5.1.3. Маркировка порошковых материалов на основе цветных металлов**

Обозначение этих составов начинается с буквенного индекса, указывающего класс материала. Под классом здесь понимают основу композиции, которая может быть представлена как цветным сплавом, так и чистым металлом. Второй буквенный индекс **П** указывает, что материал получен методом порошковой металлургии. Следующие после него буквы обозначают легирующие элементы. А цифры после них – массовую долю элемента в процентах. Цифра в конце марки после тире, как и для черных металлов, обозначает группу плотности материала (1–4). Буквенные индексы разных композиционных классов порошковых материалов на основе цветных сплавов представлены в табл. 5.2.

Например, марка **АлПМг6–4** означает, что это порошковый материал алюминиевого класса (на основе алюминия), содержащий около 6 мас.% магния, остальное – алюминий, и имеющий 4-ю группу плотности.

Система буквенно-цифровой записи легирующих элементов аналогична таковой для сплавов меди (см. п.3.1).

Другие примеры марок порошковых материалов на основе цветных металлов и сплавов: АлПМг6Г4–4, БрПО–4, ЛП80–4, ТПАл4–4, ТПАл6М2–3.

Таблица 5.2

Буквенные индексы различных классов  
порошковых материалов на основе цветных металлов и сплавов

Буквенный индекс	Наименование класса	Химические символы класса
Ал	Алюминий	Al
Бе	Бериллий	Be
Бр	Бронза	Cu–Sn–Zn
Т	Титан	Ti
Мг	Магний	Mg
Д	Медь	Cu
Л	Латунь	Cu–Zn
Х	Хром	Cr
Ц	Цинк	Zn
Цр	Цирконий	Zr

## 5.2. Классификация и маркировка металллокерамических твердых сплавов

Металлокерамическими твердыми сплавами называют сплавы, изготовленные методом порошковой металлургии (металлокерамики) и состоящие из карбидов тугоплавких металлов: WC, TiC, TaC, соединенных пластичной металлической связкой, чаще всего кобальтом.

В настоящее время в России изготавливают твердые сплавы трех групп: вольфрамовые, титановольфрамовые и титанотанталовольфрамовые, содержащие в качестве связки кобальт. Из-за дороговизны вольфрама разработаны твердые сплавы, совсем не содержащие карбид вольфрама. В качестве твердой фазы они содержат только карбид титана либо карбонитрид титана – Ti(NC). Роль пластичной связки выполняет никель-молибденовая матрица. Классификация твердых сплавов представлена на рис. 5.3.

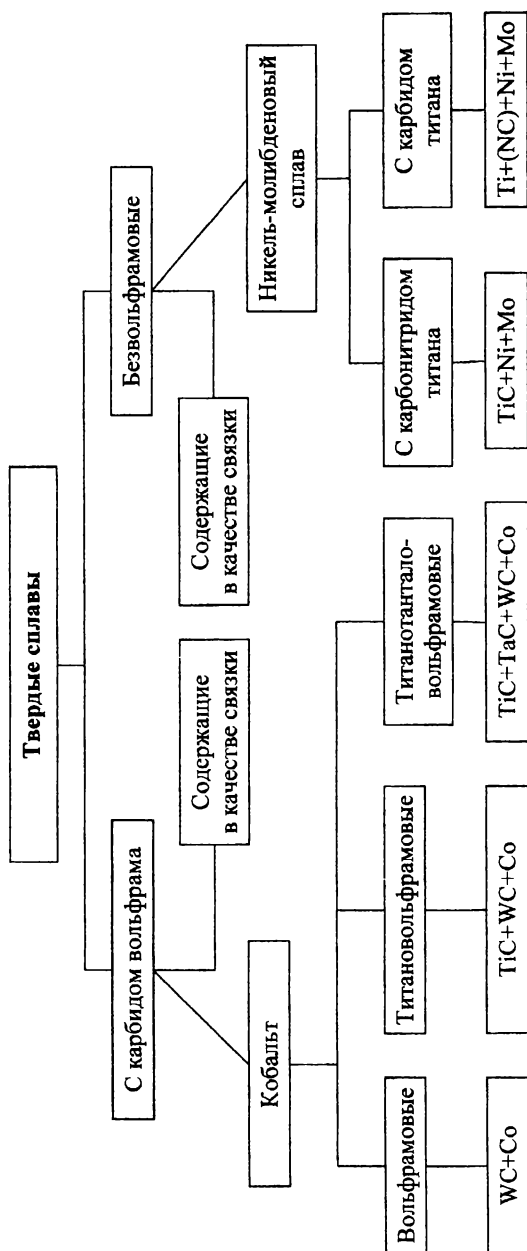


Рис. 5.3. Классификация твердых металлокерамических сплавов

В соответствии с пятью классами металлокерамических твердых сплавов по существующим правилам маркировки образованы пять маркировочных групп.

**Вольфрамовые, или вольфрамокобальтовые, твердые сплавы** маркируются буквосочетанием **ВК**, за которым указывается целое число процентов кобальта:

**ВК** Целое число процентов кобальта

Примеры: **ВК3, ВК6, ВК8, ВК10.**

**Титановольфрамовые, или титановольфрамокобальтовые, твердые сплавы** маркируются следующим образом: первой в марке стоит буква **Т**, за ней следует число массовых процентов карбида титана, далее буква **К** и число процентов кобальта. Концентрация карбида вольфрама – оставшее.

Вот как выглядит структура марки:

**Т** Целое число процентов карбида титана **К** Целое число процентов кобальта

Примеры: **Т30К4, Т15К6, Т5К10, Т5К12.**

**Титанотанталовольфрамовые, или титанотанталовольфрамокобальтовые, твердые сплавы** маркируются следующим образом: первым в марке стоит буквосочетание **ТТ**, за ним следует суммарное число массовых процентов карбида титана и карбида тантала, далее буква **К** и число процентов кобальта. Концентрация карбида вольфрама – оставшее. Вот как выглядит структура марки:

**ТТ** Суммарное число процентов карбида титана и карбида тантала **К** Целое число процентов кобальта

Примеры: **ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8, ТТ20К9.**

Иногда в конце марки через тире добавляют буквы или буквосочетания, характеризующие дисперсность частиц карбидов в порошке:

- **М** – сплав из мелких порошков, например **ВК6—М**;
- **ОМ** – сплав из особо мелких порошков, например **ВК8—ОМ**;

- **В** – сплав из крупнозернистого карбида вольфрама, например **ВК4–В**;
- **ВК** – сплав из особо крупнозернистого карбида вольфрама, например **ВК10–ВК**.

*Безвольфрамовые твердые сплавы с карбидом титана* маркируются буквосочетанием **ТН**, за которым через тире следует суммарное число массовых процентов никеля и молибдена:

**ТН**

—
---

Суммарное число процентов никеля и молибдена
---

.

Пример: **ТН–20**.

*Безвольфрамовые твердые сплавы с карбонитридом титана* маркируются буквосочетанием **КНТ**, за которым через тире следует суммарное число массовых процентов никеля и молибдена:

**КНТ**

—
---

Суммарное число процентов никеля и молибдена
---

.

Пример: **КНТ–16**.



### ***Библиографический список***

1. *Богачев И.Н.* П.П. Аносов и секрет булата. – Свердловск: Машгиз, 1952. – 139 с.
2. *Людвиг А., Прохиа Ф.* Международное сопоставление стандартных марок стали: Справ. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 335 с.
3. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / *Г.П. Фетисов* и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.
4. *Меськин В.С.* Основы легирования стали. – М.: Металлургия, 1964. – 684 с.
5. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 408 с.
6. *Спектор А.Г., Зельбен Б.М., Киселева С.А.* Структура и свойства подшипниковых сталей. – М.: Металлургия, 1980. – 264 с.
7. Стали и сплавы: Марочник: Справ. изд. / *В.Г. Сорокин* и др. – М.: Интермет-Инжиниринг, 2001. – 608 с.
8. *Лактин Ю.М., Леонтьева В.П.* Материаловедение: Учеб. для машиностроит. вузов. – М.: Машиностроение, 1990. – 527 с.
9. *Геллер Ю.А.* Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
10. *Журавлев В.Н., Николаева О.И.* Машиностроительные стали: Справ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
11. *Журавлев В.Н., Николаева О.И.* Машиностроительные стали: Справ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
12. *Гуляев А.П.* Металловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 542 с.
13. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учеб. для вузов / *Б.А. Калачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов.* – М.: МИСИС, 2001. – 416 с.
14. Материаловедение: Учеб. для вузов / *Б.Н. Арзамасов* и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 684 с.
15. Конструкционные материалы: Справ. / *Б.Н. Арзамасов* и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
16. ГОСТ 1583–89. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 38 с.

17. ГОСТ 14838–78. Сплавы алюминиевые электротехнические. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 28с.
18. ГОСТ 19807–91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 33 с.
19. ГОСТ 804–93. Магний первичный в чушках. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 20 с.
20. *Габриэлян Д.И.* Прецизионные сплавы. – М: Металлургия, 1972. -- 358 с.
21. *Металловедение и технология металлов: Учеб. для вузов / Ю.П. Солнцев и др.* – М.: Металлургия, 1988. – 512 с.

Гузанов Борис Николаевич,  
Бухаленков Владимир Васильевич,  
Анисимова Лариса Ивановна

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРАВИЛА МАРКИРОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Редактор Н.М. Юркова

Верстка Л.И. Анисимовой, М.А. Черепанова

Печатается по постановлению  
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 30.03.06. Формат 70×108/16. Бумага для множ. аппаратов.  
Печать плоская. Усл. печ. л. 4,1. Уч.-изд.л. 4,5. Тираж 200 экз. Заказ №104  
Издательство Российского государственного профессионально-  
педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.  
Ризограф РГПТУ. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

